

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LA TRANSGÉNÈSE ANIMALE EST-ELLE COMPATIBLE AVEC UNE AGRICULTURE
DURABLE ? LE CAS DU PORC TRANSGÉNIQUE HYPOPHOSPHORIQUE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
SIMON BEAUDOIN

OCTOBRE 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier de tout cœur ma directrice de mémoire, Madame Louise Vandelac, professeure titulaire au département de sociologie et à l'Institut des sciences de l'environnement (ISE) de l'Université du Québec à Montréal, pour la précieuse aide apportée tout au long de la réalisation de ce travail qui fut un parcours de réflexion puis d'écriture des plus passionnants.

Ouvrant aussi à titre d'assistant de recherche pour Mme Vandelac au sein du groupe de recherches *Technosciences du vivant et société* du *Centre de recherche interdisciplinaire sur la société, la biologie, la santé, la société et l'environnement* (CINBIOSE), son dévouement, son encouragement et son partage des connaissances m'ont permis d'acquérir une expertise qui va au-delà de la réalisation de ce mémoire. C'est en autres à travers le projet *Transgénèse au Québec*, financé par le Conseil de recherche en sciences humaines du Canada (CRSH), que j'ai eu la chance d'œuvrer au sein d'une équipe dynamique travaillant en interdisciplinarité sur des sujets concrets et cruciaux, ce qui s'est avéré pour moi un cheminement enrichissant et très formateur.

J'ai pu participer, avec Mme Vandelac, à l'écriture d'un chapitre du livre *Porcheries ! La porciculture intempestive au Québec*, qui a été publié par les Éditions Écosociété au mois d'octobre 2007, et je participerai aussi à la rédaction d'un article scientifique sur la transgénèse au Québec avec d'autres membres du groupe de recherche *Technoscience du vivant et société*. Mes travaux, s'insérant donc dans ceux d'une vaste équipe de travail, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont permis, de près ou de loin, la réalisation de ce mémoire. Ma famille, mes amis et Véronique, ma douce, ont aussi su me prodiguer de précieux conseils dans les moments plus difficiles. Merci à vous.

Pour l'octroi d'une bourse d'excellence d'études supérieures, je tiens à remercier la Faculté des sciences de l'Université du Québec à Montréal. Pour les précieux commentaires suite à la correction de ce mémoire, je remercie enfin Mme Louise Vandelac, M. Guy Debailleul et M. Laurent Poliquin.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES, ACRONYMES	vii
RÉSUMÉ	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
LA TRANSGÉNÈSE ANIMALE : RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT	7
1.1 Historique	7
1.2 Applications	9
1.2.1 Recherche fondamentale	10
1.2.2 Biopharmaceutiques	11
1.2.3 Xénotransplantations	12
1.2.4 Agriculture	13
1.2.5 Autres	14
1.3 Techniques	14
1.3.1 Stratégies	14
1.3.2 Méthodes	15
1.3.3 Difficultés techniques	17
1.3.4 Clonage	18
1.4 Perspectives	21
1.4.1 Le cas des cultures transgéniques	21
1.4.2 Commercialisation de la transgénèse animale	23
CHAPITRE II	
LA PRODUCTION PORCINE INTENSIVE AU QUÉBEC	27
2.1 Mise en contexte	27
2.2 Caractéristiques de la filière porcine québécoise	28
2.3 Agriculture intensive	32
2.4 Impacts environnementaux et sociosanitaires de l'agriculture et de la production porcine intensive	33
2.4.1 Eau	36
2.4.2 Air	41
2.4.3 Sol	45
2.4.4 Biodiversité	46
2.4.5 Pesticides et santé humaine	51
2.5 Impacts zoosanitaires de la production porcine intensive	53
CHAPITRE III	
LE PORC TRANSGÉNIQUE HYPOPHOSPHORIQUE, UNE SOLUTION AU PROBLÈME DE PHOSPHORE DES LISIERS DE LA PRODUCTION PORCINE INTENSIVE ?	58
3.1 Le phosphore au banc des accusés	58
3.2 Enviropig ^{MD} ou le porc transgénique hypophosphorique	61
CHAPITRE IV	
CADRE THÉORIQUE ET ORIENTATIONS MÉTHODOLOGIQUES	65

4.1 Cadre théorique de l'étude de cas	65
4.2 Développement durable	66
4.3 Agriculture durable	69
4.3.1 Disponibilité de la ressource	72
4.3.2 Intégrité fonctionnelle	74
4.4 Conceptions réductionnistes de la génétique	77
4.5 Conception holistique de la génétique	79
4.6 Approches de recherche	79
4.6.1 Approche écosanté	80
4.6.2 Approche cycle de vie	81
4.7 Objectifs	82
4.8 Outils méthodologiques	83
4.8.1 Indicateurs	85
4.8.2 Hypothèses	86
CHAPITRE V	
RISQUES ENVIRONNEMENTAUX, SOCIO SANITAIRES ET ZOOSANITAIRES DE L'INTRODUCTION DE PORC TRANSGÉNIQUE EN AGRICULTURE	88
5.1 Risques environnementaux	88
5.2 Risques sociosanitaires	92
5.3 Risques zoosanitaires	99
CHAPITRE VI	
INCERTITUDES SCIENTIFIQUES, DISPOSITIFS D'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE ET POLITIQUES PUBLIQUES	108
6.1 Intensification de la production	108
6.2 Transfert génétique horizontal (TGH)	110
6.3 Incertitudes scientifiques quant au potentiel des risques sociosanitaires	111
6.4 L'équivalence substantielle : un concept critiqué	111
6.5 Impacts directs et indirects potentiels de la transgénèse animale	114
6.6 Protocoles d'évaluation de la santé des animaux transgéniques	119
6.7 Réglementation et politiques publiques	120
CONCLUSION	124
APPENDICE A	
Échelle des effets sur l'environnement résultant de la production porcine	141
APPENDICE B	
Approche cycle de vie de la production porcine intensive	142
APPENDICE C	
Composantes des impacts environnementaux d'une chaîne alimentaire typique	143
APPENDICE D	
Approche écosystémique de la production porcine intensive	144
APPENDICE E	
Liste non exhaustive des pesticides retrouvés dans les eaux en milieu agricole et les impacts potentiels sur la santé humaine suite à une exposition à long terme	145
APPENDICE F	
Impacts zoosanitaires de la production porcine intensive découlant de la sélection génétique et des conditions d'élevage	146

APPENDICE G

Biodisponibilité de l'azote et du phosphore dans les ingrédients alimentaires pour les porcs	147
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

APPENDICE H

Fonctionnement physiologique de l'Enviropig ^{MD}	148
-----------------------------------------------------------------	-----

APPENDICE I

Liste des mots-clés utilisés pour la recherche	149
------------------------------------------------------	-----

APPENDICE J

Hazards related to the techniques and methods used in the production of biotechnology-derived animals.....	150
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

GLOSSAIRE	151
-----------------	-----

LISTES DES RÉFÉRENCES	163
-----------------------------	-----

Transformer le porc en « vache à lait » risque fort de tuer « la poule aux oeufs d'or »:	
------------------------------------------------------------------------------------------	--

Du porc transgénique à la viande de porc sans porc	190
----------------------------------------------------------	-----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
5.1 Risques sociosanitaires connus et potentiels de l'exposition alimentaire aux animaux transgéniques.....	93
5.2 Données spécifiques au porc transgénique hypophosphorique (Enviropig ^{MD}) quant aux facteurs de risques sociosanitaires connus et potentiels de l'exposition alimentaire aux animaux transgéniques.....	96
5.3 Risques zoonosanitaires connus et potentiels de la transgénèse animale.....	100
5.4 Données spécifiques au porc transgénique hypophosphorique (Enviropig ^{MD}) quant aux facteurs de risques zoonosanitaires connus et potentiels de la transgénèse animale.	103

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES, ACRONYMES

ADN	Acide désoxyribonucléique
ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
ACFA	Alberta Cattle Feeders' Association
ACFAS	Association francophone pour le savoir
AFFSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
APPA	Gène de la phytase <i>appA</i> de <i>Escherichia coli</i>
ARN	Acide ribonucléique
ASC	Agriculture soutenue par la communauté
ATIII	Antithrombine III
BADADUQ	Banque de données à accès direct de l'Université du Québec
BAPE	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
CAAAQ	Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois
CCCB	Comité consultatif canadien de la biotechnologie
CEE	Comité Écologie Environnement
CEST	Commission de l'éthique de la science et de la technologie du Québec
CDB	Convention sur la Diversité Biologique
CDPQ	Centre de développement du porc du Québec
CINBIOSE	Centre de recherche interdisciplinaire sur la biologie, la santé, la société et l'environnement
CIRAIG	Centre interuniversitaire de référence sur l'analyse, l'interprétation et la gestion du cycle de vie des produits, procédés et services
CIWF	Compassion in World Farming Trust
CMED	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
CMI	Commission mixte internationale
CNUED	Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement
CO ₂	Dioxyde de carbone
CRDI	Centre de recherche pour le développement international
CRSH	Conseil de recherches en sciences humaines du Canada
CST	Conseil de la science et de la technologie
DC	District of Columbia
DPI	Droit de propriété intellectuel
EC	Environnement Canada
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EMEA	European Medicines Agency
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FDA	Food and Drug Administration des États-Unis
FEB	Fédération Européenne de Biotechnologie
FPPQ	Fédération des producteurs de porcs du Québec
GE	Genetic engineering
GES	Gaz à effet de serre
GFP	Green Fluorescent Protein
GM	Genetically modified
GREPA	Groupe de recherche en économie et politique agricoles

IgE	Immunoglobuline E
IgG	Immunoglobuline G
ISQ	Institut de la statistique du Québec
ISU	Iowa State University
LCPE	Loi canadienne sur la protection de l'environnement
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MEF	Ministère de l'Environnement et de la Faune
MENV	Ministère de l'Environnement
MD	Marque déposée
mg	milligramme
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
NAS	National Academy of Sciences
NMAN	Nutrient Management Program
NRC	National Research Council
OAQ	Ordre des agronomes du Québec
OCA	Office du crédit agricole
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OGM	Organisme génétiquement modifié
ONGC	Office des normes générales du Canada
P	Probabilité
PC	Presse canadienne
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
POP	Polluant organique persistant
PSP	Parotid secretory protein promoter
PT	Phosphore total
R&D	Recherche et développement
REA	Règlement sur les exploitations agricoles
RU	Royaume-Uni
SATQ	Santé des Amis de la Terre de Québec
SC	Santé Canada
s.d.	Sans date
SDPS	Syndrome de dépérissement post-sevrage
SRC	Société royale du Canada
SRRP	Syndrome reproducteur et respiratoire porcin
TGH	Transfert génétique horizontal
TM	Trade mark
U	Unité enzymatique
UA	Unité animale
UC	University of California
UK	United Kingdom
UICN	Union Internationale pour la conservation de la nature
UQÀM	Université du Québec à Montréal
UQCN	Union québécois pour la conservation de la nature
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WRI	Word Resources Institute
WWF	Fonds mondial pour la nature

RESUME

Alors que les biologistes moléculaires poursuivent les travaux de transgénèse animale depuis plusieurs décennies déjà et que des instances réglementaires américaines et canadiennes étudient actuellement la possibilité d'introduire sur le marché des animaux transgéniques destinés à l'alimentation, force est de constater que très peu de travaux en sciences de l'environnement menés dans une perspective globale santé et société permettent d'appréhender la genèse, les enjeux et les impacts de l'introduction éventuelle d'animaux transgéniques de boucherie dans les cheptels et donc dans l'environnement et dans les assiettes.

Notre étude porte plus spécifiquement sur l'introduction éventuelle de porcs transgéniques censée remédier aux problèmes de surplus de phosphore résultant de certaines stratégies d'intensification croissante de la production porcine. Bien que ce mémoire ne soit pas centré sur l'analyse politique et économique de la production porcine au Québec, c'est néanmoins dans ce contexte que nous examinerons cette application de la transgénèse animale en agriculture et les stratégies de légitimation dont on tente d'enrober ces développements sociotechniques.

Le porc transgénique hypophosphorique en question, nommé Enviropig^{MD} permettrait, selon ses promoteurs, d'atténuer certains impacts environnementaux associés au surplus de phosphore ingéré et rejeté par les bêtes dans leurs excréments, désormais gérés sous forme de lisiers. Techniquement, les glandes salivaires de certains de ces porcs transgéniques peuvent produire une enzyme appelée phytase permettant la digestion puis l'absorption du phosphore alimentaire diminuant alors le contenu en phosphore de certains de ces porcs de 56 à 75% dans les matières fécales.

Dans un contexte où la mesure des types et des niveaux de risques que représente la transgénèse pour la santé environnementale, humaine et animale ne fait pas consensus au sein de la communauté scientifique, il nous est apparu essentiel, en l'absence manifeste de contre-expertise indépendante, d'examiner si un tel porc est compatible avec une agriculture durable dont se réclame cet « Enviropig^{MD} ». Ainsi, suite à une vaste revue de littérature, en s'inspirant des approches écosanté et cycle de vie, nous analysons certains risques associés à un tel porc transgénique susceptibles de toucher plus largement d'autres d'animaux de boucherie transgéniques, tout en identifiant les principaux impacts sur la production porcine. Notre analyse porte également sur les zones d'ombre des dispositifs d'évaluations scientifiques et des politiques publiques dans le domaine. En examinant cette question de l'introduction du porc transgénique, dans le contexte global des pratiques d'élevage de ce secteur agro-industriel très concentré et dominé par quelques grands intégrateurs et multinationales de la transformation, nous mettrons également en évidence le caractère peu viable d'une telle stratégie.

Mots-clés: transgénèse, porc transgénique, production porcine, élevage et agriculture durable, développement durable, risques, politiques publiques, approche écosanté.

INTRODUCTION

Le dossier des animaux transgéniques, moins connu que celui des cultures transgéniques, communément appelées organismes génétiquement modifiés (OGM), recoupe celui des OGM végétaux à plus d'un égard. Les grandes monocultures transgéniques sont actuellement les seules à avoir reçu les approbations de commercialisation et de consommation animale et humaine de certains gouvernements, notamment des États-Unis, de l'Argentine et du Canada (Clive, 2006), contrairement aux microorganismes, animaux ou arbres génétiquement modifiés ou transgéniques¹ (Santé Canada, 2006).

La transgénèse animale a fait son apparition dès 1971 (Brackett *et al.*), mais les techniques se sont améliorées surtout à partir du début des années 80, si bien que la transgénèse animale est désormais couramment utilisée en laboratoire. La majeure partie des expériences de transgénèse est réalisée sur des rongeurs, notamment sur des souris transgéniques destinées à la recherche fondamentale et biomédicale. Quant aux animaux d'élevage transgéniques, certains sont également utilisés en laboratoire pour la recherche fondamentale et appliquée, notamment pour certaines applications industrielles dans la production de biopharmaceutiques, mais aussi pour la production d'organes de remplacement et pour l'agriculture.

Bien que les impacts sur l'environnement, la santé humaine et animale de nombreuses pratiques relatives aux élevages industriels intensifs fassent l'objet de vives critiques (BAPE, 2003a; Horrigan *et al.*, 2002), plusieurs biologistes moléculaires, poursuivant cette logique industrielle, proposent de passer de la sélection génétique classique des animaux d'élevage, qu'ils jugent lente et aléatoire, à la transgénèse permettant de

¹ Ces organismes génétiquement modifiés ont été transformés par l'insertion d'un ou de plusieurs transgène(s) inscrits dans une construction génétique. La transgénèse repose quant à elle sur l'«[i]ntroduction d'un ou plusieurs gènes dans des cellules végétales ou animales menant à la transmission du gène introduit (transgène) aux générations successives» (FAO, s.d.).

transférer des caractères génétiques provenant d'espèces, voire de règnes différents, ce qui n'est pas non plus sans soulever d'épineuses questions...

Parmi les animaux d'élevage transgéniques destinés à l'alimentation humaine, deux sont actuellement sous évaluation par des instances réglementaires américaines et canadiennes aux fins d'approbation pour commercialisation et consommation humaine : un saumon transgénique au taux de croissance accéléré, faisant notamment l'objet d'analyses par la Food and Drug Administration des États-Unis ainsi que par plusieurs instances canadiennes, et un porc transgénique hypophosphorique, sous la loupe d'instances canadiennes. Le saumon transgénique, Aquadvantage^{MD}, ayant déjà fait l'objet d'un mémoire de maîtrise (Durand, 2007) et d'un travail d'analyse dans le cadre d'une recherche financée par le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH) par le groupe de recherche *Technoscience du vivant et société* du CINBIOSE (Vandelac *et al.*, 2003-2006), nous nous concentrons ici sur les impacts environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires de l'introduction éventuelle d'un porc transgénique au Canada en ciblant le cas du Québec, où la production porcine est la plus importante du pays et fait l'objet de vives controverses sociopolitiques et environnementales depuis des années.

En ce qui concerne le porc transgénique, Golovan et ses collègues, de l'Université de Guelph en Ontario, ont produit en 2001 des porcs transgéniques ayant incorporé dans leur bagage génétique une ou plusieurs construction(s) génétique(s)² permettant la synthèse, dans les glandes salivaires, d'une enzyme appelée phytase dont le gène codant proviendrait d'une lignée non pathogène de la bactérie intestinale *Escherichia coli* (lignée K12). Cette enzyme, une fois dans le système digestif de l'animal, peut transformer le phosphore alimentaire indigeste, piégé dans la molécule de phytate, en phosphore biodisponible (Simons *et al.*, 1990; Kornegay et Qian, 1996). Parmi ces porcs transgéniques, seulement trois des treize lignées créées au départ avaient une activité enzymatique suffisante pour diminuer le contenu en phosphore des matières fécales de 56 à 75% comparativement à des porcs non transgéniques nourris avec la même diète (Golovan *et al.*, 2001a). C'est sous la marque de

² Transgène PSP/APPA (*parotid secretory protein promoter* de la souris lié au gène de la phytase *appA* de *Escherichia coli*).

commerce Enviropig^{MD} que ses promoteurs souhaitent introduire ce porc sur le marché et dans l'alimentation.

Aujourd'hui, plusieurs générations subséquentes (au moins cinq) de ces porcs transgéniques hypophosphoriques ont été créées (Forsberg *et al.*, 2005a) et les chercheurs impliqués participent actuellement au développement des exigences et des directives en matière d'innocuité susceptibles de permettre la commercialisation de leur nouvelle «invention» (D'Amato, 2001; Maus, 2004; Canadian University Press, 2006).

Le développement d'un cadre réglementaire étant en cours au sein des instances canadiennes, annonçant la commercialisation éventuelle de l'Enviropig^{MD}, il nous est donc apparu essentiel, en l'absence manifeste de contre-expertise indépendante, d'examiner dans un premier temps, si un tel porc transgénique est compatible ou non avec une agriculture durable, notamment dans le contexte de l'industrie porcine du Québec. L'argument environnement, intégré dans l'appellation commerciale, est en effet présenté comme une justification de l'introduction d'une telle production animale transgénique qui pourrait améliorer la durabilité de l'industrie porcine (Forsberg *et al.*, 2003, Maus, 2004). Nous nous pencherons donc sur les questions, les enjeux et les impacts soulevés par l'adoption potentielle d'un tel porc dans les pratiques d'élevage intensives caractéristiques du Québec en vertu d'une agriculture dite durable.

Au Québec, comme dans d'autres pays à travers le monde, la production porcine intensive constitue un problème d'envergure. La Commission du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE, 2003a) portant sur le développement durable de la production porcine au Québec concluait dans son rapport final que «l'inscription de la production porcine dans le développement durable n'[était] pas acquise» tant sur les plans social, environnemental qu'économique. Le rapport révélait entre autres que l'industrialisation des élevages, depuis les années 70 avait fait «survenir des conflits sociaux locaux nombreux et diversifiés qui tendent à s'intensifier et à s'élargir à l'ensemble de la société québécoise» et dont les impacts environnementaux sont «principalement attribuables à la pollution diffuse». Depuis le rapport du BAPE et la levée du moratoire sur l'implantation de nouvelles

porcheries, fin 2005, c'est toujours le *statu quo* et selon l'Union québécoise pour la protection de la nature (UQCN, 2004), aucune amélioration significative n'a été réalisée, depuis lors, en matière de développement durable de la production porcine.

Les problèmes découlant de ce mode de production insoutenable risquent fort de s'accroître et de s'accélérer au cours des prochaines décennies, sous l'effet de l'augmentation de la demande. Ainsi, si la consommation de viande a augmenté de 20% dans les pays les plus riches depuis les années 1950 (Heap et Kent, 2000 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 445), pour représenter aujourd'hui, selon l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE, 2003) 40% de la viande consommée mondialement, la demande mondiale globale semble en effet vouloir s'accroître avec la croissance de la population, l'augmentation des revenus et l'urbanisation des pays du Sud (de Haan, 2004 : 21). Toujours selon l'OCDE, la production alimentaire mondiale de viande, d'ici 2020, devrait s'accroître d'un autre 20% pour répondre à cette demande croissante. Les populations risquent alors de souffrir davantage, dans les pays riches, de problèmes découlant de la surnutrition et de la malnutrition déjà l'une des causes majeures de maladies chroniques (maladies cardio-vasculaires, cancers, diabète, etc.), alors que les problèmes de sous-nutrition, affectant à l'heure actuelle environ 800 millions de personnes à travers le monde (Horrigan *et al.*, 2002), risquent de s'accroître si la production alimentaire mondiale n'est pas mieux répartie.

Ce mémoire qui s'inscrit dans cet univers de la transgénèse animale, porte sur la genèse, les enjeux, l'analyse des risques environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires de la transgénèse animale dans le domaine de l'élevage au Québec, en ciblant particulièrement le porc. Il s'intéresse également aux discours utilisant les questions de pollution environnementale pour tenter de légitimer le recours à la transgénèse (Forsberg *et al.*, 2003; Maus, 2004).

Bien que les animaux transgéniques développés dans les laboratoires ne soient encore ni autorisés pour la vente, ni commercialisés comme produits alimentaires au Canada (Santé Canada, 2006), bon nombre d'éléments nous portent à croire qu'une telle éventualité puisse

se produire dans un avenir rapproché. Parmi ces éléments, mentionnons l'élaboration actuelle d'un cadre réglementaire canadien pour l'approbation d'animaux transgéniques à visées alimentaires, l'importante littérature portant sur l'Enviropig^{MD}, l'annonce depuis plusieurs années de l'arrivée de l'Enviropig^{MD} et la présence de cultures transgéniques depuis 1996 au Canada.

Dans ce mémoire, nous examinerons, par le biais d'une vaste revue de littérature, les principaux risques connus et potentiels des applications du génie génétique en matière de production porcine, tant pour la santé animale, humaine et environnementale. Suite à l'identification de ces risques, nous ferons un examen sommaire des dispositifs d'évaluations scientifiques et des politiques publiques, en tentant de vérifier si ces mécanismes sont suffisants et adéquats pour protéger la santé des porcs, des humains et des écosystèmes. En examinant cette question de l'introduction du porc transgénique, dans le contexte global des pratiques d'élevage de ce secteur agro-industriel très concentré et dominé par quelques grands intégrateurs et géants de l'industrie agro-alimentaire, nous tenterons de vérifier également si une telle stratégie est non viable.

Structure du document

Dans le but de bien saisir la nature du problème sur lequel nous nous sommes attardés, à savoir si la transgénèse animale, en l'occurrence le porc transgénique hypophosphorique, est compatible avec une agriculture durable, nous exposerons, dans le chapitre I, le contexte général de la recherche et développement (R&D) en transgénèse animale et plus particulièrement en ce qui a trait aux animaux transgéniques à visées alimentaires. Puis, dans le chapitre II, nous exposerons les principaux impacts environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires découlant de la production porcine intensive au Québec. Le chapitre III portera sur la description détaillée du porc transgénique hypophosphorique Enviropig^{MD}. Suite à ces trois chapitres permettant de bien cerner la problématique d'ensemble, à travers l'examen de la transgénèse animale, du dossier de la production porcine québécoise et enfin du porc transgénique hypophosphorique, nous serons

alors à même de mieux saisir si l'introduction de l'Enviropig^{MD} est compatible ou non avec une agriculture durable.

Ce sont ces concepts de développement durable et d'agriculture durable que se propose d'examiner le chapitre IV, consacré aux approches théoriques de ce mémoire, incluant notamment certains débats scientifiques relatifs à la transgénèse animale, ainsi que certaines approches globales de recherche (écosanté et cycle de vie) mises en œuvre pour réaliser la recherche. Au plan méthodologique, ce chapitre démontre en détail les différentes étapes suivies pour la collecte et l'analyse des données recueillies dans la revue de littérature.

Le chapitre V expose quant à lui les principaux risques environnementaux, sociosanitaires et zoonosaires de l'introduction en agriculture d'animaux transgéniques ainsi que les données spécifiques au porc transgénique hypophosphorique. Dans le chapitre VI, nous procéderons à l'analyse de ces principaux résultats ainsi qu'à la mise en évidence des zones d'ombre des dispositifs d'évaluation scientifique, dégageant au passage certaines lacunes au niveau des politiques publiques.

Pour conclure l'ensemble du travail de recherche, nous avons procédé à la rédaction d'une conclusion générale faisant entre autres le point sur les différents sujets traités et revenant sur la problématique, les objectifs, la méthodologie, les principaux résultats et les conclusions générales à en tirer. Les annexes, le glossaire ainsi que les références bibliographiques suivent la section conclusion.

Il convient ici de préciser qu'un article (Vandelac et Beaudoin, 2007), s'appuyant en partie sur les travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche Transgénèse au Québec (CRSH), sous la direction de Louise Vandelac et qui a à la fois nourri et été nourri par les travaux réalisés dans ce mémoire, a été publié dans le livre *Porcheries ! La porciculture intempestive au Québec* à l'automne 2007, aux Éditions Écosociété, sous la direction de Denise Proulx et Lucie Sauvé, et s'intitule : «Transformer le porc en « vache à lait » risque fort de tuer « la poule aux œufs d'or » : Du porc transgénique, à la viande de porc sans porc...». (L'article complet peut être consulté à la toute fin de ce mémoire, p. 190).

CHAPITRE I

LA TRANSGENESE ANIMALE : RECHERCHE & DEVELOPPEMENT

Ce premier chapitre présente l'état des connaissances et les principaux développements en matière de transgénèse, appliqués aux animaux, et plus particulièrement aux animaux d'élevage.

Dans un premier temps, nous rappellerons les principales découvertes ayant mené à la transgénèse animale. Puis, nous exposerons les différentes applications de la transgénèse chez les animaux d'élevage précisant certaines variantes techniques propres à notre étude de cas. Nous terminerons en identifiant les développements les plus récents ainsi que les perspectives, à plus ou moins long terme, de commercialisation des animaux transgéniques.

1.1 HISTORIQUE

C'est en 1953 que, pour la première fois, la structure en double hélice de l'ADN (acide désoxyribonucléique) a été décrite grâce aux rayons X par deux jeunes chercheurs du laboratoire Cavendish à Cambridge, James Dewey Watson et Francis Harry Compton Crick, ce qui leur vaudra, neuf ans plus tard, le prix Nobel de Physiologie et Médecine. Bien que des découvertes antérieures avaient déjà permis d'identifier la composition chimique de l'ADN et sa fonction de support de l'hérédité, grâce notamment aux travaux de Mendel au 19^e siècle, la découverte de la structure de l'ADN a donné le coup d'envoi à la révolution génétique en cours depuis déjà plus d'un demi-siècle. Il a toutefois fallu attendre jusqu'en 1968 pour que les premières véritables manipulations génétiques voient le jour. C'est grâce entre autres à certaines enzymes, appelées enzymes de restriction, qu'on a pu alors couper l'ADN en des endroits prévisibles permettant ainsi l'extraction de fragments de gènes de n'importe quel organisme (Séralini, 2004 : 23-24). La mise au point du PCR (*Polymerase Chain Reaction* ou amplification en chaîne par polymérisation), rapportée pour la première fois dans une publication publique en 1986, a constitué un autre grand moment de l'évolution de la biologie moléculaire, en permettant l'amplification de plusieurs milliards de fois le nombre de copies d'une séquence d'ADN bien précise : le clonage moléculaire était né.

Aujourd'hui, la méthode s'est considérablement développée et compte désormais plusieurs centaines de ces enzymes de restriction produites à partir de différentes cellules qui sont ensuite purifiées. Grâce à ces découvertes et au développement de différentes techniques de biologie moléculaire, les scientifiques sont aujourd'hui capables de décortiquer et d'assembler, avec une extrême précision, des séquences génétiques provenant d'organismes et d'espèces différentes, voire de règnes différents : virus, bactéries, levures, plantes, animaux et humains (Séralini, 2001).

Bien que les OGM cultivés soient apparus sur nos tablettes bien avant les animaux transgéniques, soit en 1996, ceux-ci ont été créés avant les plantes transgéniques et ont permis de réaliser de nombreuses études sur le fonctionnement génétique (Séralini, 2003 : 220)³. La production du premier animal transgénique a été réalisée grâce aux travaux de Brackett *et al.* (1971). Des lapins transgéniques avaient alors été conçus grâce à la fertilisation d'ovules avec des spermatozoïdes sur lesquels était accolé de l'ADN étranger. Seulement, aucune expression génétique du transgène n'a pu être observée et le transgène n'était pas transmis aux générations suivantes. C'est seulement au milieu des années 70 que le premier animal transgénique — une souris — a pu transmettre à ses descendants, un transgène préalablement introduit par le biais d'un vecteur rétroviral (Jaenisch, 1976). Au début des années 80, les techniques de transgénèse se raffinèrent et Gordon *et al.* (1980) utilisèrent pour la première fois la microinjection pour transférer un gène étranger, sans pour autant observer l'expression génétique du transgène. Il a donc fallu attendre jusqu'à 1982 pour que la première expression d'un transgène chez un animal soit rapportée par Palmiter et ses collègues. L'expérience consistait à introduire un gène d'hormone de croissance de rat dans le génome de souris. Ce transgène, stimulant la croissance, a permis de produire des souris transgéniques géantes, comparativement à des souris non transgéniques, qui avaient la faculté de transmettre ce trait transgénique à leurs descendants. Pour la première fois, on constatait que la transgénèse fonctionnait chez les animaux, c'est-à-dire qu'il était désormais possible, par la modification du génotype, d'observer un nouveau phénotype.

³ De 1980 au 21 octobre 2002, on a dénombré 225 985 publications scientifiques portant sur les animaux transgéniques (Séralini, 2003 : 220).

En 1985, c'est grâce à la microinjection de transgènes, technique encore couramment utilisée, dont le but était de promouvoir la croissance chez des porcs et des moutons, qu'on créa les premiers animaux d'élevage transgéniques sans toutefois pouvoir observer une augmentation significative de leur taux de croissance (Hammer *et al.*, 1985).

Aujourd'hui, plusieurs animaux ont fait l'objet de modification génétique : souris, rat, lapin, cochon d'Inde, poisson, porc, chèvre, mouton, chien, chat, vache, singe, poulet, grenouille, mollusque, drosophile, nématode, etc. (Houdebine, 1998; The Royal Society [UK], 2001; Rutovitz et Mayer, 2002). Les applications sont diverses et des animaux d'élevages sont désormais aussi créés pour être utilisés comme des animaux de laboratoire.

1.2 APPLICATIONS

Ainsi, des organismes de pratiquement tous les règnes ont d'ores et déjà été génétiquement modifiés. Différentes variétés d'OGM sont depuis longtemps cultivées en agriculture (soya, maïs, canola/colza et coton transgéniques constituent 99% des OGM cultivés (Séralini, 2004)), mais des microorganismes (bactéries, levures) et des cellules animales transgéniques sont aussi utilisés pour la production de biopharmaceutiques et de protéines recombinantes depuis plusieurs années (Houdebine, 1998 : 162). Dernièrement, ce sont les premières plantes transgéniques, prévues produire certains biopharmaceutiques, qui ont été cultivées à ciel ouvert (Munro, 2007) alors que la commercialisation d'un biopharmaceutique provenant de lapins transgéniques vient d'être approuvé en Europe (EMA, 2006). En ce qui a trait aux animaux transgéniques, comme nous le verrons dans les pages suivantes, ceux-ci sont utilisés en recherche fondamentale, certains pour la production de médicaments (pharmaculture), d'autres pour la production de certaines composantes industrielles et pour l'agriculture, alors que les projets centrés sur la transplantation d'organes, de tissus ou de cellules (xénotransplantation) semblent décliner.

Bien que les animaux d'élevage transgéniques soient moins fréquemment utilisés en recherche fondamentale, nous avons pu dénombrer, suite à une vaste revue de littérature faite dans le cadre du projet de recherche sur la transgénèse au Québec, allant de 1980 au 1^{er}

janvier 2006, près de 300 publications scientifiques rapportant la création d'animaux transgénique (porcins, bovins, caprins, ovins, poulets et poissons) aux fonctions diverses. Compte tenu des difficultés techniques de telles expériences et de la non publication des expériences ratées, ce nombre ne traduit qu'une faible partie des expériences menées dans le domaine.

1.2.1 Recherche fondamentale

C'est au plan de la recherche fondamentale, dont le prolongement immédiat est constitué par la recherche biomédicale, que les activités de recherches en transgénèse sont les plus intenses, utilisant presque exclusivement des souris transgéniques (Maga, 2005 : 533). Celles-ci servent, entre autres, de modèles pour certaines maladies humaines (Ciavatta *et al.*, 1995) pour tester de nouvelles thérapies (Marutle *et al.*, 2007), pour effectuer des tests de toxicité (Wolf et Henderson, 1997) ou pour la compréhension des fonctions génétiques (Chemelli *et al.*, 1999) et des processus biologiques (Vaes *et al.*, 2006). Le recours aux souris comporte plusieurs avantages dont notamment le faible coût, la rapidité de reproduction, le fait qu'elles aient été largement étudiées depuis de nombreuses années et aussi, qu'elles soient disponibles par courrier. Néanmoins, leur physiologie, leur anatomie et leur durée de vie diffèrent significativement par rapport aux êtres humains, les rendant inappropriées pour l'étude de plusieurs maladies (Kues et Niemann, 2004 : 291). Des animaux d'élevage transgéniques, comme des porcs, des moutons et même des vaches, peuvent donc aussi servir de modèles d'autres maladies requérant des observations sur de longues périodes (Petters *et al.*, 1997; Kues et Niemann, 2004 : 291).

Les processus de création des animaux transgéniques étant très peu efficaces, plusieurs recherches sont dédiées à l'amélioration des techniques de transgénèse qui sont, rappelons-le, de plus en plus associées à celles du clonage. Le recours aux gènes rapporteurs⁴ n'obligeant pas de prélever les cellules des animaux pour observer l'expression génétique, plusieurs animaux d'élevage transgéniques ont reçu un gène permettant de «marquer» les cellules ou tissus qui ont intégré et expriment adéquatement le ou les transgène(s). Le plus

⁴ Plusieurs autres gènes rapporteurs ou marqueurs de sélection sont utilisés en génie génétique.

connu, qui a pratiquement été utilisé chez tous les animaux, est sans doute le gène de méduse codant pour la protéine de fluorescence verte (GFP : Green Fluorescent Protein), dont la présence peut être révélée grâce aux rayons ultraviolets (Higashijima *et al.*, 1997; Mizuarai *et al.*, 2001; Naruse *et al.*, 2005). Ce sont ces travaux qui ont donné lieu à la création de poissons transgéniques ornementaux aux couleurs diverses (Gong *et al.*, 2003) maintenant vendus dans certains pays asiatiques et aux États-Unis sauf en Californie (Glofish[®], s.d.; Paquette, 2004).

1.2.2 Biopharmaceutiques

La production de biopharmaceutiques, composés issus de la pharmaculture, s'avère être un domaine en pleine effervescence et déjà des produits transgéniques originaires de cellules animales, de plantes et de microorganismes transgéniques ont été produits dont certains sont commercialisés depuis plusieurs années (CEST, 2003) (un seul biopharmaceutique provenant d'un animal transgénique est actuellement commercialisé). Du côté des animaux de fermes, la production de biopharmaceutiques dans le lait de moutons, de chèvres et de vaches, dont l'organisme est utilisé comme «bioréacteur», offre certains avantages: production à grande échelle à l'année longue, rapidité du processus de production, facilité de la récolte, riche teneur en protéines et modifications post-traductionnelles⁵ adéquates des protéines recombinantes produites (Dyck *et al.*, 2003 : 394-395; Niemann *et al.*, 2005 : 286). Néanmoins, les longs intervalles entre les lactations, les variations des cycles de lactation ainsi que le temps et le matériel nécessaires à investir sont d'importantes limites à la production de protéines étrangères dans le lait (Wall *et al.*, 1997 cité dans Dyck *et al.*, 2003 : 395). La confection des constructions génétiques étant basée sur une démarche empirique et conduisant souvent à une faible expression du transgène (Houdebine, 1998 : 163), ajoutons que ce ne sont pas tous les types de protéines qui peuvent être produits dans le

⁵ La traduction étant, sommairement, le processus de synthèse des polypeptides, les modifications post-traductionnelles rendent fonctionnelles les protéines par le repliement, l'association et le raccourcissement des polypeptides et par l'attachement de glucides et de lipides indispensables (Cooper, 1999 : 290). Lorsque les protéines recombinantes produites comporte une telle complexité structurale, seules les cellules animales peuvent procéder à certaines de ces modifications (Houdebine, 1998 : 162).

lait. Certaines contraintes sont liées à la toxicité ou à l'interférence de la nouvelle protéine exprimée, peu importe que l'expression ait été prévue dans le lait ou ailleurs dans l'animal. Ainsi, certains de ces effets ont notamment été observés chez des lapins transgéniques dont le lait contenait une protéine recombinante humaine, l'érythropoïétine, et dont une faible expression ectopique du transgène a induit une accélération massive de la transformation des cellules érythroïdes en globules rouges (Massoud *et al.*, 1996). D'autres fluides corporels peuvent aussi produire des biopharmaceutiques tels que le sang, l'urine, les fluides séminaux et même les œufs transgéniques en dépit du fait que plusieurs contraintes techniques, parfois considérables, sont rencontrées : faibles volumes obtenus, faible teneur en protéines, difficultés de purification, inadéquation des modifications post-traductionnelles et inefficacité de la transgénèse dans le cas des poulets (Dyck *et al.*, 2003 : 395-396). Jusqu'à maintenant, une panoplie de composés, dont le gène recombinant origine souvent de l'humain, ont été produits et sont à divers stades d'essais cliniques ou déjà commercialisés : anticorps humains, antithrombine, calcitonine, érythropoïétine, facteurs de coagulations (ex. : fibrinogène), lactoferrine humaine, superoxyde dismutase (Wall, 1999; Das, 2001).

1.2.3 Xénotransplantations

Par ailleurs, les développements en matière de transplantations d'organes ont conduit à considérer comme insuffisante la disponibilité d'organes de remplacement pour les humains. C'est pour pallier à cette pénurie d'organes que des travaux ont été entrepris afin que des organes humanisés puissent être prélevés sur des animaux transgéniques pour d'éventuelles transplantations. Si des organes (Lai *et al.*, 2002; Phelps *et al.*, 2003) et même certains tissus (Pohajdak *et al.*, 2004) surtout de porcs, mais aussi d'autres animaux, peuvent servir à effectuer des xénotransplantations, l'essentielle d'entre elles font référence à d'éventuels projets de transplantation cardiaque, chez des humains, de cœurs de porcs transgéniques. Le porc est ici considéré comme étant l'animal de choix, notamment pour ses similitudes physiologiques avec l'humain (Kues et Niemann, 2004 : 289). La transgénèse animale chercherait, dans ce cas, à réduire les différents types de réaction de rejet d'organe par l'organisme receveur, en l'occurrence celui de certains primates, chez qui de nombreux essais ont déjà été réalisés. Bien que certains affirment que les recherches progressent, les

taux de survie des primates receveurs varieraient de 23 à 135 jours suite à une réaction de rejet d'une transplantation cardiaque provenant d'un porc transgénique (Kues et Niemann, 2004 : 289). S'ajoutant à ces difficultés, la transmission de zoonose ne peut être écartée, et le risque qu'un virus de porc soit transféré à l'humain, suite à la transplantation, constitue l'une des plus grandes craintes à l'égard de telles expériences. Il a en effet été démontré que des rétrovirus endogènes porcins, produits par des lignées cellulaires porcines, pouvaient infecter *in vitro* des lignées cellulaires humaines (Patience *et al.*, 1997).

1.2.4 Agriculture

Enfin, dans le domaine de l'agriculture, les applications potentielles des recherches portant sur la transgénèse animale sont très nombreuses, voire surprenantes. Certains scientifiques ont actuellement recours à la transgénèse animale dans l'espoir d'augmenter ainsi le taux de croissance et/ou «d'améliorer» la composition de la carcasse (Vize *et al.*, 1988; Pursel *et al.*, 1989; 1990, 1992, 1997; Rexroad *et al.*, 1990), ce qui permettrait entre autres d'obtenir une viande moins grasse. Cependant, la surexpression d'hormone, la plupart du temps étrangère, responsable de perturbations physiologiques majeures, débouche souvent sur la création d'animaux transgéniques peu viables comportant divers problèmes de santé. D'autres scientifiques cherchent à modifier la composition laitière pour faciliter la fabrication de fromage (Brophy *et al.*, 2003) ou pour accroître les taux de survie et faciliter le développement des nouveaux-nés (Wheeler *et al.*, 2001; Noble *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2003). D'autres chercheurs tentent d'augmenter, via la transgénèse, la production, d'améliorer la composition de la laine (Damak *et al.*, 1996 a, b), d'augmenter la résistance aux maladies (Brem, 1993; Clemens *et al.*, 1994; Chan *et al.*, 1998; Denning *et al.*, 2001; Sarmasik *et al.*, 2002). D'autres adeptes de la transgénèse visent à réduire notamment les infections aux glandes mammaires chez les vaches (Krimpenfort *et al.*, 1991) ou encore à développer la résistance au froid chez les poissons (Cook *et al.*, 2000), à produire de la viande riche en oméga-3 (Saeki *et al.*, 2004; Lai *et al.*, 2006) et améliorer l'utilisation alimentaire (Golovan *et al.*, 2001a), but visé par la création du porc transgénique hypophosphorique.

1.2.5 Autres

Une autre application trouve écho dans la détection d'agents mutagènes en milieu aquatique grâce à des poissons-zèbres transgéniques (Amanuma *et al.*, 2000). Au plan industriel, la production d'un fil ultra résistant de type Kevlar à base de molécules de soie d'araignée, dont certaines ont été produites dans du lait de chèvre transgénique (Karatzas *et al.*, 1999), aurait aussi pu offrir certaines possibilités inédites comme la création de gilets pare-balles, de fil à usage chirurgical et de cordes très robustes, mais plusieurs difficultés techniques quant au processus de filage des protéines recombinantes produites ont forcé la compagnie *Nexia Biotechnologies*, créatrice de la chèvre transgénique, à abandonner les recherches⁶.

En dépit de toutes ces propositions de création d'animaux transgéniques, il n'en reste pas moins que la transgénèse animale est encore très peu efficace et reste basée sur l'introduction au hasard de séquences d'ADN étranger. Les difficultés rencontrées varient en fonction des nombreuses techniques utilisées, et du type de cellules ou d'organisme transformé.

1.3 TECHNIQUES

1.3.1 Stratégies

Deux stratégies de bases sont utilisées en transgénèse animale, l'une sert à «gagner une fonction» alors que l'autre sert à «annuler une fonction» (Wheeler *et al.*, 2003 : 269). Le gain de fonctions a pour objectif de fournir une nouvelle expression génétique d'une protéine recombinante qui, préalablement, n'existait pas dans un type de cellule ou de tissu donné (inclus la surexpression ou l'expression ectopique⁷ de gènes endogènes). La perte de fonction, basée sur la recombinaison homologue du transgène avec le génome de cellules

⁶ Site de Nexia Biotechnologies : http://www.nexiabiotech.com/en/01_tech/01-bst.php. Consulté le 6-04-2007.

⁷ Décrit l'expression d'un gène dans un tissu dans lequel il n'est pas exprimé habituellement (Lewin, 1999).

embryonnaires, permet des applications semblables au gain d'une fonction bien que cette méthode ait l'avantage de cibler spécifiquement une séquence génétique. Il permet la surexpression de gènes endogènes, mais permet surtout de provoquer des mutations insertionnelles et de bloquer l'expression de certains gènes grâce à la présence de transgènes «anti-sens» aux gènes endogènes ciblés. L'annulation de fonction génétique trouve surtout application dans les domaines de la médecine, de l'agriculture et dans la compréhension des processus de contrôle développemental (Wheeler *et al.*, 2003 : 269). Quant au gain de fonction, c'est la stratégie la plus utilisée en agriculture chez les animaux d'élevage puisqu'il permet l'acquisition de caractères nouveaux impossible à obtenir par les voies de sélection traditionnelle comme la sélection artificielle⁸ ou la sélection génétique⁹. Soit dit en passant, certains croient que la transgénèse aboutit aux mêmes résultats que ceux obtenus suite à la sélection artificielle, et que seul le nouveau trait distingue les individus transgéniques de ceux non transgéniques (Wheeler, 2007). Or, cela dénote une conception réductionniste, encore relativement répandue, selon laquelle un «gène» est lié à une seule «protéine» (*voir* chapitre IV).

1.3.2 Méthodes

Au fil des ans, bon nombre de techniques visant à créer des animaux transgéniques ont été développées. Mais force est de constater la faible performance de ces techniques et la forte variabilité des résultats d'une espèce à l'autre, ce qui n'est pas étranger au fait qu'une panoplie de méthodes de transgénèse ont été développées. Actuellement, les techniques qui peuvent être utilisées sont le transfert de gène grâce à l'injection ou à l'infection d'ovocytes ou d'embryons par des virus ou par différents types de vecteurs viraux (rétrovirus, lentivirus), la lipofection de transgènes dans des cellules ou des embryons, l'électroporation de transgènes dans des spermatozoïdes, des ovules ou des embryons, la biolistique, la microinjection, l'injection dans la cavité de blastocystes de cellules souches embryonnaires

⁸ «Pratique de sélection d'individus dans une population pour la reproduction, généralement parce que ces individus possèdent un ou plusieurs caractères désirés.» (FAO, s.d.)

⁹ «Processus de sélection de gènes, de cellules, de clones, etc. au sein d'une population ou entre des populations ou des espèces.» (FAO, s.d.)

(cellules ES) et/ou de cellules germinales embryonnaires (cellules EG) qui ont préalablement été exposées aux transgènes, la fertilisation *in vitro* d'ovules avec des spermatozoïdes matures liés aux transgènes, l'injection de transgène directement dans les tubules séminifères, la transfection ou l'infection rétrovirale des transgènes aux cellules précurseurs des spermatozoïdes qui sont réintroduits dans des testicules adoptifs, l'interférence avec des molécules d'ARN anti-sens et le transfert nucléaire de cellules embryonnaire ou somatiques (Séralini, 2001; Wheeler, 2003 : 266; Houdebine, 2004; Niemann *et al.*, 2005).

Ainsi, la transgénèse animale résulte de l'intégration d'une ou plusieurs séquences d'ADN étranger, aussi appelé transgène, dans le patrimoine génétique des animaux. Seulement, pour s'intégrer, l'ADN étranger doit être présent au moment de la réplication du génome qui a lieu juste après la fécondation (Houdebine, 1998 : 6). La plupart du temps, on procède au transfert durant le stade embryonnaire de 1 cellule, juste après la fécondation du gamète femelle par le gamète mâle, et préféablement avant le début de la réplication de l'ADN (*ibid.*). Toutefois, il appert que l'ADN étranger peut ne pas s'intégrer après le début du développement embryonnaire (stade cellulaire de 2 cellules ou plus) engendrant alors des «chimères» ou des animaux transgéniques dits «chimériques» parce que ce ne sont pas toutes les cellules de l'animal qui sont génotypiquement identiques (*ibid.* : 16). Dans ce cas, il se peut que les cellules somatiques de l'animal transgénique possèdent le transgène, alors que ses cellules germinales ne l'ont pas reçu, ce qui empêche les géniteurs transgéniques de transmettre leur(s) transgène(s) (le contraire est aussi possible). Dans les cas où une ou plusieurs construction(s) génétique(s) s'installe(nt) au sein du génome, un nouveau génotype est formé et lorsqu'il s'exprime adéquatement, un nouveau phénotype peut être observé.

Les résultats variant selon l'organisme, l'ADN à transférer et la technique utilisée, rares sont les insertions réussies qui aboutissent à la création d'un animal transgénique capable de transmettre cette modification génétique à ses descendants. Une des techniques de transgénèse les plus utilisées chez les animaux de ferme est la microinjection¹⁰ qui consiste à injecter, grâce à une microseringue, des séquences d'ADN étranger (environ 1000 copies)

¹⁰ Chez les volailles, la nature même des systèmes de reproduction aviaires rend impossible cette forme de transfert génétique (Dyck *et al.*, 2003 : 396).

dans le pronucléus¹¹ mâle d'embryons récemment fertilisés parce qu'ils sont plus gros et plus près de la périphérie de la cellule (Houdebine, 1998 : 16; Wheeler, 2007 : 205). Très peu efficace, la plupart des embryons injectés ne se développent pas et moins de 1% des individus naissent avec les changements génétiques escomptés en raison de nombreux problèmes tels l'insertion au hasard, les faibles taux d'intégration dans le génome et les difficultés d'expression génétique dues aux effets de position¹² (Vajta et Gjerris, 2006 : 220).

1.3.3 Difficultés techniques

Bien que ces manipulations soient qualifiées par certains de précises, alors que d'autres diront qu'elles sont basées sur des essais-erreurs, Séralini (2001 : 18) souligne que ni les détails de la structure, ni le fonctionnement précis de l'ADN ne sont encore parfaitement connus. Alors que la connaissance des limites mêmes des gènes ne font pour l'instant pas consensus au sein de la communauté scientifique (Séralini, 2003 : 54-58), on sait toutefois qu'ils se répètent, se dédoublent, se superposent, se déplacent, s'emboîtent et qu'ils ont des promoteurs multiples, complexes et variables dont les terminaisons possibles varient elles aussi. Un gène peut même coder pour plusieurs protéines qui, à leur tour, peuvent subir différentes modifications ce qui peut modifier leur fonction (*Ibid.*: 53). Aussi, un gène ne se transmet jamais seul de génération en génération et certains effets épigénétiques peuvent influencer la génétique et sont même considérés comme «une hérédité qui n'est pas due à la séquence génétique elle-même». Ces effets, à la limite de la génétique, ne sont pas transmis selon les lois de la génétique classique et prennent leur origine de divers phénomènes provoqués par divers constituants (*Ibid.*: 155). Les gènes peuvent par exemple être éteints provisoirement par les méthylations¹³ qui sont normalement irréversibles, alors que d'autres effets sont moins connus et plus définitifs. Ils participent entre autres à la diversité fonctionnelle et morphologique des cellules qui peuvent devenir très différentes, bien qu'elles soient dotées au départ du même code génétique (*Ibid.*: 155). D'autres effets épigénétiques

¹¹ Noyau haploïde d'un œuf fécondé.

¹² Influence de la position d'un gène (surtout un transgène) sur son expression et ensuite sur son effet phénotypique.

¹³ Méthylation : modification chimique ajoutant des atomes (une fonction CH₃) à une molécule comme l'ADN par exemple. La méthylation peut faire taire l'expression d'un gène (Séralini, 2003).

tirent leur origine suite à la présence de produits chimiques (ex. : pesticides) dans l'environnement, entraînant la présence d'adduits¹⁴ sur l'ADN, souvent responsables de mutations favorisant dans certains cas l'initiation de cancers (Séralini, 2003 : 70). Ainsi, les effets environnementaux sur la génétique sont donc capables d'induire des modifications sur le fonctionnement génétique. Au-delà des séquences génétiques linéaires, c'est donc toute l'écogénétique qui doit maintenant être considérée dans la compréhension du fonctionnement génétique.

Certes, on a vu se multiplier les travaux de séquençage de génomes qui prétendaient initialement nous donner une fabuleuse clef de compréhension. Mais d'une part, seuls les génomes de quelques plantes ou organismes supérieurs, au sein d'un petit nombre d'espèces, ont jusqu'à maintenant été séquencés. D'autre part, ce décryptage demeure insuffisant à prédire les effets épigénétiques préalablement définis et omet de considérer d'autres séquences d'ADN, les introns, dont plusieurs biologistes moléculaires négligent encore leur importance, mais dont les fonctions dans le patrimoine héréditaire ne sont toujours pas connues. Ajoutons que cela est également nettement insuffisant pour pouvoir prédire le comportement qu'aura l'insertion ou le transfert de nouvelles constructions génétiques au sein d'un patrimoine génétique. En fait, comme nous pourrons ultérieurement le constater, les gènes se comportent comme un écosystème en soi et connaissent des régulations multiples en cascades.

1.3.4 Clonage

Ce sont les difficultés techniques de la transgénèse et leurs coûts significatifs qui ont poussé les chercheurs à développer de nouvelles voies de production d'animaux transgéniques. Le transfert nucléaire, communément appelé clonage, est la voie qu'empruntent de plus en plus de chercheurs afin de produire des animaux d'élevage transgéniques. La technique consiste à éliminer l'ADN d'un ovocyte (énucléation), à le

¹⁴ «Molécules, tels des polluants, comme des hydrocarbures polycycliques aromatiques venant des gaz de voiture, ou des dioxines venant des résidus d'incinérateurs. Elles forment des liaisons fortes (covalentes), notamment à l'ADN, favorisant les mutations.» (Séralini, 2000).

remplacer par l'ADN de la cellule donneuse d'origine somatique ou embryonnaire (dans ce cas préalablement génétiquement modifiée) puis de la «reprogrammer» pour permettre la fusion des membranes et stimuler le développement grâce à une impulsion électrique (Vajta et Gjerris, 2006 : 215; Wheeler, 2007 : 205). Une fois l'embryon désiré obtenu, celui-ci peut être transféré dans l'utérus d'une mère dite «porteuse». Le clonage combiné avec la transgénèse rend dès lors possible la production d'individus identiques à partir d'un animal fondateur (clonage somatique) ou de cellules embryonnaires (clonage embryonnaire) génétiquement modifié(es) (Baile et Della-Fera, 2001-2002; Wheeler, 2007 : 205). Plusieurs animaux transgéniques d'élevage ont d'ores et déjà été générés grâce au transfert nucléaire dont plusieurs porcs (Bettauser *et al.*, 2000; Onishi *et al.*, 2000; Polejaeva *et al.*, 2000; Dai *et al.*, 2002; Lai *et al.*, 2002).

Ainsi, la technique de clonage, dans le cas où les animaux générés sont transgéniques, repose sur la sélection de cellules ayant déjà incorporé le changement désiré en plus de permettre des modifications génétiques plus précises, voire jusque-là impossibles (Vajta et Gjerris, 2006 : 220). Bien qu'on prétende que cette technique permette d'obtenir de meilleurs résultats que la transgénèse, moins de 10% des animaux clonés survivent et la proportion d'embryons issus du transfert nucléaire avec cellules adultes ou fœtales ayant débouché sur la création d'animaux transgéniques en bonne santé et exprimant adéquatement le transgène, oscillait, en 2002, entre 0 et 4% (Wilmut *et al.*, 2002 : 583). Ces résultats sont encore moins bons dans les cas du clonage porcin, dû à la très faible efficacité de la technique, ce qui incite à transférer au moins 4 embryons en même temps dans l'utérus d'une truie pour assurer une grossesse (Lai *et al.*, 2003, Machaty *et al.*, 2002 et Miyoshi *et al.*, 2002 cités dans Zhang *et al.*, 2006a : 2). Les difficultés techniques du clonage qui sont aussi combinées à celles d'une multitude de techniques de reproduction utilisées en laboratoire (ex. : superovulation, maturation des ovocytes et des embryons, fertilisation *in vitro*, congélation embryonnaire, etc.), ne sont pas sans danger pour la santé animale et on observe dès à présent de nombreux impacts zoosanitaires chez tous les types d'animaux clonés.

Les conséquences zoosanitaires du clonage et des technologies de reproduction utilisées représentent ainsi un obstacle considérable dont les causes sont mal comprises. On a

notamment observé, chez des nouveaux-nés, de faibles taux de viabilité avant et après la naissance et où le poids de certains individus était anormalement élevé, ceci sans parler d'autres souffrances occasionnées par plusieurs autres pathologies (Vajta et Gjerris, 2006 : 217). Ce phénomène accompagné d'autres symptômes de malformations et d'obésité, désigné par l'expression «large offspring syndrome» est jusqu'à maintenant plus fréquemment observé chez les souris, les moutons et les bovins (Vajta et Gjerris, 2006 : 217-218). Chez le porc, des recherches ont quant à elles démontré que des porcelets clonés avaient un taux de survie moins élevé, souffraient d'infections diverses et de problèmes cardiaques et avaient une langue et des reins surdimensionnés (Carter *et al.*, 2002; Phelps *et al.*, 2003).

Les difficultés techniques rencontrées par les biologistes moléculaires en matière de transgénèse ou de clonage pourraient freiner certains développements, mais les efforts déployés sont colossaux et déjà, comme on pourra le constater (section 1.4.2), certains produits d'animaux d'élevage transgéniques sont commercialisés. La FDA (2006) des États-Unis a même affirmé, en se basant sur des ébauches d'évaluation du risque de viande provenant d'animaux clonés adultes (bovin, porcin, caprin) et de leur descendance, que ces produits seraient aussi sécuritaires que ceux provenant d'animaux reproduits de manière conventionnelle¹⁵ (une telle prétention soulève certaines lacunes semblables à la stratégie de l'équivalence substantielle qui seront développées dans le chapitre VI), ce qui ouvre un peu plus la porte à l'arrivée d'autres produits transgéniques voire de viande provenant d'animaux transgéniques et clonés.

¹⁵ Dans son document *Commentaires du gouvernement du Canada sur le document "Animal Cloning: a Draft Risk Assessment" de la USFDA*, le gouvernement canadien répond : «puisque'il n'existe actuellement pas suffisamment d'information pour guider l'évaluation de l'innocuité préalable à la mise en marché de ces produits, on demande [aux producteurs d'animaux clonés] de s'abstenir de soumettre un avis sur les aliments nouveaux jusqu'à ce que les exigences soient déterminées et que des directives soient établies.» (ACIA, 2007)

1.4 PERSPECTIVES

1.4.1 Le cas des cultures transgéniques

Si la majeure partie des différents types d'OGM est aujourd'hui confinée dans les laboratoires, néanmoins les OGM végétaux sont de plus en plus présents, notamment aux États-Unis, en Argentine et au Canada dans l'agriculture et l'élevage. Compte tenu que les principales cultures (soja, maïs, canola ou colza) servent à fabriquer des huiles, de la fécule, de la lécithine, etc. largement utilisées dans la production alimentaire industrialisée, ces composés transgéniques sont désormais présents, en Amérique du Nord et dans certains pays dans plus de 70% des produits transformés (Parent et Vandelac, 1999). Présentes dans l'alimentation humaine et animale depuis 1996, les cultures transgéniques représentaient au Québec, en 2007, 52% du maïs-grain (environ 234 000 hectares), 48% du soja (environ 84 500 hectares) et 85% du canola (environ 8 500 hectares) (Québec, s.d.). La production d'éthanol étant maintenant enclenchée, on s'attend à ce que le maïs OGM occupe dorénavant 51% des surfaces consacrées à cette culture la faisant passer de 392 000 hectares en 2006 à 443 000 hectares en 2007, soit une augmentation de 13% en une seule saison (Francoeur, 2007). À l'échelle mondiale, les seuls OGM commercialisés à grande échelle, ayant dépassé le cap des 100 millions d'hectares, sont des plantes résistantes à un herbicide (68% ou 69.9 millions d'hectares), des plantes produisant un insecticide (19% ou 19 millions d'hectares) ou les deux (13% ou 13,1 millions d'hectares) (Clive, 2006).

Alors que les grandes firmes de biotechnologies ont prétendu que les cultures transgéniques allaient fournir de la nourriture de meilleure qualité à meilleur prix, qu'elles étaient durables au plan environnemental, qu'elles amélioreraient la productivité et qu'elles pourraient nourrir les pays en voie de développement, force est de constater qu'après dix ans d'exploitation, aucune de ces promesses n'a été tenue. (Altieri et Rosset, 1999; Berlan, 2001; Les Amis de la Terre International, 2004; Darier, 2007a). Les impacts environnementaux et sociaux reconnus jusqu'à ce jour sont considérables : contamination de cultures non transgéniques par la plante transgénique apparentée, hybridation avec introgression du

transgène dans une espèce sauvage apparentée ou une culture voisine similaire¹⁶, émergence ou multiplication d'adventices résistantes aux herbicides totaux sans hybridation avec les OGM (dans le cas de cultures résistantes à un herbicide), émergence d'insectes résistants aux insecticides produits par la plante¹⁷ (toxine de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt)) (Séralini, 2003 : 186-188). De par leur nature, monoculturale et nécessitant la plupart du temps l'épandage massif de pesticides, les OGM entraînent la diminution de la biodiversité des cultures, de la faune et de la flore et contribuent à la contamination des eaux de surfaces et souterraines par les pesticides causant en retour plusieurs problèmes de santé aux populations animales et humaines, etc.

Au plan juridique, les droits de propriété intellectuelle (DPI) sur les semences, en interdisant de réutiliser les semences brevetées, ont contribué à l'appauvrissement de nombreux producteurs à travers le monde (Shiva, 2004). Pire encore, au Canada et ailleurs dans le monde, la pollution génétique des cultures non transgéniques par des transgènes de cultures avoisinantes permet désormais aux propriétaires des brevets, qui sont la plupart du temps détenus par une poignée des multinationales, d'exiger le versement de redevance à leur endroit. Quant aux impacts directs de la consommation des OGM sur la santé humaine et animale, ils sont impossibles à prédire, mais quelques rares publications démontrent toutefois l'existence de risques bien réels, notamment chez les modèles animaux étudiés (Malatesta *et al.*, 2002, 2003; Séralini, 2003 : 214; Vecchio *et al.*, 2004; Séralini, 2007). D'autres études publiées par l'équipe de Séralini (Benachour *et al.*, 2007) sont quant à elles révélatrices d'effets cytotoxiques du Roundup, l'herbicide le plus utilisé particulièrement chez les OGM, suggérant que la reproduction humaine et le développement fœtal pourraient être affectés.

Alors même que se multiplient les problèmes découlant de la commercialisation des OGM cultivés, voilà que la transgénèse animale risque fort d'amplifier les problèmes. C'est entre autres grâce à la convergence de récentes avancées zootechniques, avec comme outils la biologie moléculaire, que s'ouvrent de nouvelles dimensions d'exploitation des animaux

¹⁶ De 1996 à 2006, le nombre total de contaminations génétiques répertoriées à travers le monde s'élève à 142 (Gene Watch UK et Greenpeace International, 2007).

¹⁷ Ceci peut éliminer une importante méthode de contrôle des insectes nuisibles souvent utilisées par les agriculteurs biologiques comme dernier ressort.

d'élevage en modifiant directement leur code génétique. Les approches classiques de sélection et de reproduction artificielle font maintenant place à la biologie moléculaire pour l'amélioration génétique des animaux d'élevage, comme si le problème tenait d'abord et avant tout à la génétique de ces animaux, présumé que nous examinerons ultérieurement.

1.4.2 Commercialisation de la transgénèse animale

Bien qu'aucun animal transgénique n'ait encore été commercialisé pour la consommation humaine, la mise en marché d'un porc transgénique au taux de croissance accéléré et dont la composition de la carcasse est modifiée aurait été convoitée. Les raisons invoquées pour justifier ce report seraient la faiblesse de l'acceptabilité du public en regard des aliments génétiquement modifiés (Niemann *et al.*, 2005 : 289), mais ce serait surtout d'importants problèmes de santé animale observés dans certaines recherches (Pursel *et al.*, 1990) qui auraient repoussé leur commercialisation.

Pour l'instant, sur l'ensemble des animaux transgéniques destinés à la production alimentaire, deux sont dans le «pipeline», c'est-à-dire sous examen aux fins d'approbation réglementaire puisque la mise en place d'un cadre réglementaire se fait toujours attendre¹⁸. L'Enviropig^{MD}, le porc transgénique hypophosphorique, et un saumon transgénique, produit par la compagnie Aquabounty au taux de croissance accéléré (Cook *et al.*, 2000; Aquabounty, 2002; Logar et Pollock, 2004)¹⁹, seraient les deux animaux transgéniques qui pourraient être approuvés dans les prochaines années aux fins de commercialisation et de consommation humaine. À propos du saumon transgénique, Stéphane Durand (2007) aurait conclu dans son mémoire de maîtrise, qui s'inscrivait par ailleurs dans les recherches du groupe de recherches *Technosciences du vivant et société* (Vandelac *et al.* 2003-2006), suite à des interviews avec les principaux acteurs de l'aquaculture salmonicole au Nouveau-

¹⁸ Néanmoins, des porcs transgéniques sont déjà entrés à quatre reprises dans la chaîne alimentaire au Canada et aux États-Unis. En 2002, onze porcelets transgéniques hypophosphoriques avaient entre autres contaminé 675 tonnes de nourriture destinées à nourrir de la volaille (Gene Watch et Greenpeace, 2005).

¹⁹ La construction génétique contient le promoteur de la protéine anti-gel de la loquette d'Amérique (*Macrozoarces americanus*) dirigeant l'expression du gène d'hormone de croissance du saumon Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*).

Brunswick, que ce saumon transgénique aurait tendance à exacerber certains enjeux environnementaux, sociaux, politiques, économiques et sanitaires de l'aquaculture tout en en créant de nouveaux.

Des produits provenant d'animaux d'élevage transgéniques, mais non destinés à la consommation, sont toutefois déjà disponibles sur le marché. C'est en 2006 que la mise sur le marché de la première protéine recombinante, l'antithrombine III (ATIII) dont la marque de commerce est Atryn[®], a été approuvée par l'*European Medicines Agency* aux fins de traitements (EMA, 2006). Produite dans le lait de chèvres transgéniques, la protéine recombinante stimule la coagulation sanguine et sert notamment à traiter les patients résistants à l'héparine lors d'interventions chirurgicales (Niemann *et al.*, 2005 : 287). Aussi, au moment de terminer ce mémoire, on annonçait qu'un autre biopharmaceutique, Rhucin[®], produit dans le lait de lapins transgéniques et qui servirait à traiter l'angio-œdème, pourrait bientôt être commercialisé puisqu'il rencontrait les exigences de l'EMA (Megget, 2007). Dès 2004, Kues et Niemann soulignaient que l'approbation commerciale de ces produits pharmaceutiques provenant d'animaux transgéniques allait fort probablement accélérer l'enregistrement d'autres produits et stimulera sans doute les activités de recherche à visées commerciales.

Si la commercialisation d'animaux transgéniques destinée à l'alimentation humaine était bientôt approuvée, si on en croit la récente décision de la FDA (FDA, 2006) d'approuver la consommation de viandes d'animaux clonés (bovins, porcs et chèvres), cela pourrait stimuler l'émergence d'autres applications déjà prévues. En ayant recours à la transgénèse, certains envisagent déjà augmenter les performances reproductives et de rendre des espèces comme les porcs, les moutons et les bovins encore plus prolifiques (Wheeler *et al.*, 2003 : 266). Seulement, la sélection artificielle et génétique des animaux d'élevage, basée sur la sélection de traits désirables normalement reliés à la productivité des œufs, du lait ou de la viande (augmentation du taux de croissance et de l'efficacité de la conversion alimentaire, augmentation des rendements en œufs et en volume de lait, augmentation du nombre de petits par portée, résistance à la maladie, etc.), est déjà responsable de problèmes zoonosés considérables (CIWF, 2002 : 10). Comment alors peut-on croire que l'augmentation des

performances reproductives n'aura pas l'effet d'exacerber les problèmes déjà existants? D'autres encore voudraient produire des poules capables de produire des œufs en permanence et même combattre la sénescence reproductive comme si les cycles reproductifs et la fin de la période reproductive représentaient maintenant des obstacles à la production. Quels seraient alors les impacts sur la santé animale suite aux stress métaboliques causés par l'absence de repos entre les mises bats et même l'annulation de la sénescence reproductive des animaux? Selon Seidel (1999, cité dans Wheeler, 2007: 204), cette sénescence reproductive serait le résultat d'événements physiologiques comme la lactation, l'anorexie, la mauvaise nutrition et les saisons de l'année... La transgénèse permettrait alors la suspension de cette sénescence reproductive non seulement chez les poules, mais aussi chez d'autres espèces, ce qui, chez des animaux comme le porc ou la vache, pourrait avoir des effets dévastateurs sur la santé des animaux déjà hypothéqués par des poids corporels et des pis surdimensionnés et l'obtention de grosses portées sur de courts intervalles de temps (CIWF, 2002). Enfin, plusieurs aliments fonctionnels pourraient être générés par la transgénèse comme c'est déjà le cas avec la viande de porc contenant des oméga-3 (Lai *et al.*, 2006). Ceci, laissant croire que la consommation de viande, à l'origine de problèmes de santé publique dans les pays riches, serait bénéfique à la santé, quel serait l'impact d'une augmentation de la consommation de viande, déjà surconsommée, comparativement aux bénéfices apportés par la valeur ajoutée?

Le séquençage de plusieurs génomes animaux n'étant pas encore achevé, dont celui du porc (Willard, 2006), les travaux de recherche en transgénèse demeurent peu fructueux en raison de connaissances limitées quant aux promoteurs désirables, à la régulation de la transcription ou de la traduction et à l'organisation chromosomique (Forsberg *et al.*, 2005b : 432), ce qui limite le ciblage de la modification génétique (Niemann *et al.*, 2005 : 291). Force est de constater qu'une fois ces génomes décryptés, nous risquons fort d'assister à l'intensification des activités de recherche dans la production d'animaux transgéniques où le clonage jouera un rôle essentiel. À cet effet, Séralini (2003 : 214-215) affirme qu'[u]n animal transgénique ne pourra faire carrière à la ferme que s'il y est multiplié à l'identique ou presque.» Les techniques de clonages et de transgénèse étant intimement liées, «le clonage rend possibles les OGM et permet leur exploitation», mais il demeure que le développement commercial est freiné par l'irrégularité et les difficultés techniques (*ibid.*). Une fois ces

obstacles surmontés, Séralini (2003 : 200-221) ajoute que ce sont tous les animaux de ferme qui y passeront d'autant plus que ces animaux seront sous brevets.

L'avenir des animaux transgéniques, dont la trajectoire semble avoir été dessinée par les enjeux commerciaux, pose nombre de problèmes dont plusieurs peuvent déjà se calquer sur ceux des cultures transgéniques tels les impacts environnementaux, sociaux, sociosanitaires, zoosanitaires et aussi les questions de durabilité économique.

Outre ces risques, ce sont donc les problèmes d'ordre économique, notamment à cause des brevets sur le vivant, découlant de la mainmise sur le vivant, par quelques grandes multinationales, qui risquent fort de créer de nouvelles filières de vivants brevetés, «conçus d'emblée comme marchandises et comme outils de production, ce qui n'est pas sans soulever d'importants enjeux éthiques et de pressantes questions d'imputabilité.» (Vandelac et Beaudoin, 2007).

CHAPITRE II

LA PRODUCTION PORCINE INTENSIVE AU QUEBEC

Les élevages porcins intensifs au Québec sont actuellement aux prises avec d'importants problèmes environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires. Dans la mesure où c'est dans ce contexte bien particulier que certains promoteurs proposent aujourd'hui d'introduire un porc transgénique hypophosphorique, visant prétendument à réduire la teneur en phosphore des lisiers, il importe d'abord de bien comprendre les origines et les enjeux d'un tel problème ainsi que les principaux impacts de ce type de production porcine québécoise.

Nous examinerons donc les caractéristiques de la production porcine intensive québécoise et les principaux éléments historiques l'ayant menée vers sa situation actuelle. Seront ensuite présentés, les impacts environnementaux et sociosanitaires, suivis des impacts zoosanitaires engendrés par une telle production dont on commence à peine à comprendre et à mesurer les impacts en cascades.

2.1 MISE EN CONTEXTE

La domestication et l'élevage des animaux, facteurs clés du développement de l'agriculture et de l'accroissement de la production alimentaire, ayant permis d'enranger des surplus et de stimuler les échanges commerciaux, ont largement contribué au passage du nomadisme à la sédentarisation et ont joué un rôle clé dans l'émergence des grandes civilisations.

Au fil du temps, et de façon particulièrement marquée depuis le 19^e siècle, les applications résultant du cumul d'observations attentives, ainsi que la transmission des savoirs, des innovations sociales et des nouvelles technologies, tant en matière de sélection et de nutrition des animaux, qu'en matière de diversification des produits et d'accroissement de la productivité agricole, ont permis de passer du simple suivi des troupeaux, à l'agriculture de subsistance puis à l'élevage intensif et à l'agriculture industrielle (Olesen *et al.*, 2000 : 570-571; Bremel *et al.*, 2001 : E1).

C'est ainsi que les animaux de ferme, ayant traditionnellement joué un rôle d'importance dans l'agriculture, non seulement comme source d'énergie motrice et de nourriture, mais aussi pour le recyclage des nutriments et la construction des matières organiques pour le sol, sont désormais associés à des problèmes environnementaux, sociaux, socio-économiques, sociosanitaires, zoosanitaires et politiques considérables dont l'intensité de la production est pressentie à travers tout le cycle de vie des produits. La production porcine intensive au Québec n'y faisant pas exception, voyons en détail comment cela se traduit.

2.2 CARACTÉRISTIQUES DE LA FILIÈRE PORCINE QUÉBÉCOISE

La production porcine au Québec s'est considérablement accrue depuis les années 70 et surtout depuis les années 90 pour devenir la seconde en importance, par ses revenus, derrière la production laitière du Québec²⁰. Parmi toutes les productions porcines, la production québécoise est également la première en importance au Canada (Statistiques Canada, 2007)²¹. C'est également au Québec qu'on observe la plus forte densité des effectifs porcins, soit une moyenne, en 2001, de 2,18 porcs par hectare cultivé (Debailleul et Boutin, 2004). Ainsi, de 1970 à 2001, la production porcine québécoise annuelle est passée de 1,7 million de porcs à 7,1 millions : une augmentation de 325% (BAPE, 2003b : 3). En 2005, le volume de production était de 7 295 784 têtes (FPPQ, s.d.).

L'accroissement fulgurant, au cours des dernières années, du volume de la production porcine, est le fruit de l'accroissement de la demande mondiale et de la libéralisation des marchés et cela, en dépit des nouvelles exigences réglementaires en matière d'environnement (BAPE, 2003a). L'objectif de doubler la valeur des exportations agricoles au Sommet agroéconomique de Sainte-Hyacinthe en mars 1998 (CEE et SATQ, 2003) a été suivi d'investissements de fonds publics de 1,5 milliard visant à répondre à cet objectif et à créer

²⁰ 1,13 milliard de dollars étaient attribuables à la production de porcs à la ferme en 2001, alors qu'au même moment, 1,59 milliard de dollars étaient attribuables à la production laitière à la ferme (ECON6.1 : 55,57 cité dans BAPE, 2003b : 3).

²¹ Au 1^{er} janvier 2007, les producteurs ont déclaré 4 085 000 têtes de bétail et ce, pour 2460 fermes déclarant une moyenne de 1661 porcs par ferme. L'ensemble du Canada détenait à la même date 14 329 100 porcs (Statistique Canada, 2007).

15 000 emplois (Coalition Eau Secours!, 2003 : 20). Aujourd'hui, environ la moitié des porcs produits au Québec est destinée à l'exportation, dont les principaux pays importateurs sont le Japon et les États-Unis, ce qui représente 37% de toutes les exportations canadiennes de viande de porc (FPPQ, s.d.).

La spécialisation de la production porcine, depuis le milieu des années 70, accompagnée par certaines évolutions technologiques et un avancement des connaissances en matière d'alimentation animale, de biosécurité, d'insémination artificielle, de conception de bâtiments et de gestion environnementale constituent autant de facteurs ayant eu pour effet d'augmenter la taille des exploitations et d'en diminuer le nombre (BAPE, 2003b : 3).

Fillion (2006 : 103-105) résume assez bien l'évolution de la production porcine au Québec. «Une des technologies les plus appréciées par les producteurs et ayant un impact majeur dans les années 1970 à 1980 a été l'apparition, dans les salles de maternité et de pouponnières, des cages et des enclos surélevés.» Facilitant le nettoyage des enclos et l'hygiène, le recours à ce mode de gestion des déjections diminuait le contact avec les animaux. «À partir de 1990, toutes les vagues de restructurations et de modernisation des différents maillons de la filière (production, meuneries, abattoirs...) portent leurs fruits». Ainsi, jusqu'en 2000, l'accroissement de la production porcine québécoise est fulgurant. Il sera accompagné d'une panoplie de nouvelles techniques, qui selon Fillion (2006), permettent «de rehausser le niveau de santé des troupeaux, d'améliorer l'environnement et le bien-être animal, de diminuer les coûts de production et de réduire les risques des sommes d'argent investies».

Parallèlement, Statistique Canada affirmait en 2005 que :

Le rendement moyen pour chaque truie au Canada a augmenté, étant passé de 15,0 porcs il y a une décennie à 19,8 porcs actuellement. De plus, le nombre de porcs réchappés à défaut pour chaque truie ayant mis bas se situe maintenant à 9,4 porcs, en hausse par rapport aux 8,8 porcs d'il y a une décennie.

Parallèlement, le nombre de jours relatifs à la mise en marché a chuté, étant passé d'une moyenne de 196 jours il y a dix ans à seulement 140 jours. Cette situation était

attribuable en partie à la mise en marché de porcs plus jeunes à destination des États-Unis et qui sont engraisés au sud de la frontière. De plus, il n'est pas surprenant de constater l'élargissement des fermes porcines, lesquelles ont crû de 250 % au cours de la dernière décennie (Statistique Canada, 2005).

Dans son rapport final, le BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec²² statuait que

[à] l'heure actuelle, la production porcine du Québec se caractérise par sa grande efficacité, sa rapidité d'adaptation, la qualité de ses produits et sa compétitivité. Il s'agit d'un modèle de production intensive et rationalisée, concurrentielle à l'échelle du marché international, faisant appel à des techniques communes largement répandues [...] (FULI57) (BAPE, 2003a : 6).

Par ailleurs, ce même rapport concluait que «l'inscription de la production porcine dans le développement durable n'[était] pas acquise» (*ibid.*, 213) tant sur les plans social, environnemental qu'économique. Le rapport révélait entre autres que l'industrialisation des élevages, depuis les années 70 avait fait «surgir des conflits sociaux locaux nombreux et diversifiés qui tendent à s'intensifier et à s'élargir à l'ensemble de la société québécoise» et dont les impacts environnementaux sont «principalement attribuables à la pollution diffuse, qui sont difficiles à mesurer mais dont l'existence est indéniable» (*Ibid.*, 15). Depuis la levée du moratoire en décembre 2005, imposé suite au rapport du BAPE sur l'inscription de la production porcine dans le développement durable, il semble bien que le *statu quo* se soit maintenu en matière de non-durabilité de cette production au Québec (UQCN, 2004; Francoeur, 2005a) notamment en raison d'une augmentation de 700 000 têtes de bétail durant le moratoire (Bouthillier, 2006).

L'industrie porcine est actuellement en crise pour plusieurs raisons dont : «[l']appréciation du dollar canadien, l'arrivée de nouveaux concurrents américains et brésiliens, le moratoire sur la production porcine et le circovirus qui a frappé le cheptel porcin». (Breton, 2007) Ainsi, depuis le mois de septembre 2005, les producteurs auraient

²² Plus de 9000 personnes ont été entendues durant les consultations publiques et près de 400 mémoires y ont été déposés (Bouthillier, 2006).

obtenu pour leurs porcs un prix de vente inférieur au coût de production, ce qui depuis le début de 2006 se traduisait par un écart moyen de 9 dollars par porc dont les pertes totales se sont élevées à plus de 60 millions de dollars à la fin de 2006 (Turcotte, 2006). Turcotte ajoute que les producteurs ont fait les frais de normes environnementales plus strictes alors que les abattoirs ont payé moins cher pour les porcs québécois. L'institut de la statistique du Québec (ISQ, 2007) affirme quant à lui qu'au cours de la dernière année complétée, les revenus tirés de la production porcine ont chuté de 19,9%. Ainsi, «[l]es recettes générées par le secteur porcin, soit 829,8 millions, chutent pour une deuxième année consécutive atteignant ainsi leur plus bas niveau depuis les sept dernières années.» En 2006, l'ISQ affirmait que «[c]'est une hausse de la mortalité, mais surtout la chute des prix qui ont contribué à l'effondrement des recettes monétaires dans ce secteur.»

À partir de 2005, pour la première fois depuis plusieurs années, le nombre de porcs dans les élevages québécois a commencé à diminuer. Statistique Canada affirmait qu'entre le 1^{er} octobre 2004 et le 1^{er} octobre 2005, les agriculteurs ont affiché une diminution de 0,02% du nombre de porcs alors qu'une baisse de 9,4% entre le 1^{er} octobre 2005 et le 1^{er} octobre 2006 a été enregistrée (Statistique Canada, 2006). Ainsi, «[l]es maladies comme les circovirus porcins, entre autres, n'ont cessé d'affliger la production porcine au Québec et en Ontario. Depuis le deuxième trimestre de 2005, le taux de pertes attribuables aux maladies a doublé par rapport à celui des années antérieures.» Cette maladie, causée par un circovirus et appelé syndrome de dépérissement post-sevrage (SDPS) (aussi appelée maladie d'amaigrissement du porcelet), aurait fait son entrée dans les élevages québécois entre les années 2000 et 2005 (Fillion, 2006 : 105). Elle a provoqué, en 2005, la perte de 270 000 porcs, environ 2% du cheptel québécois, haussant le taux de mortalité au-delà du taux normal de 4 % (Turcotte, 2006; La semaine verte, 2006a, b, c)²³.

²³ «La valeur des pertes pour les producteurs s'élève à près de 27 millions, selon la Fédération [des producteurs de porcs du Québec].» (PC, 2006). Le gouvernement québécois a octroyé un montant à hauteur de 15,2 millions pour un programme d'aide afin de compenser les pertes (13 millions), permettre aux producteurs de toucher des prêts sans intérêts (2 millions) et poursuivre la recherche sur le SDPS (Lacombe, 2006 : 43).

Ainsi, après une forte augmentation depuis le milieu des années 1990 surtout, la production porcine québécoise connaît désormais un nombre croissant de problèmes, qui malgré l'injection d'importants fonds publics, se multiplient et s'aggravent. Les types de solutions préconisées jusqu'à présent visaient à contrôler un paramètre à la fois plutôt que d'interroger en amont les facteurs à l'origine de ces difficultés en prenant en compte l'ensemble des éléments ayant pu conduire à une telle crise.

La production porcine étant intimement liée à la production végétale parce que les déjections animales sont utilisées comme engrais organique pour fertiliser les cultures qui servent à nourrir les animaux, les méthodes et les types de culture sont eux aussi responsables d'impacts considérables sur l'environnement. Une bonne compréhension des impacts de l'agriculture intensive est donc primordiale pour bien comprendre l'impact que pourrait avoir l'introduction d'animaux transgéniques en agriculture.

2.3 AGRICULTURE INTENSIVE

L'agriculture intensive vise à augmenter les rendements tout en diminuant les coûts de production en réalisant notamment des économies d'échelle (Union of Concerned Scientists, 2001 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 445). En production porcine, on cherche à réaliser ces économies d'échelle par la spécialisation, l'augmentation des troupeaux et le confinement permettant de grandes densités animales sur de petites surfaces (Cole *et al.*, 2000 : 685).

Lorsque le nombre d'animaux par exploitation augmente, cela se traduit par une plus grande quantité de lisier à éliminer, et lorsque la superficie par tête diminue, les transferts d'éléments nutritifs vers le sol sont plus importants, ce qui constitue une menace pour la qualité de l'eau. [OCDE, 2003 : 15]

Outre les éléments nutritifs, ce sont une panoplie d'autres constituants contenus dans les effluents porcins qui peuvent affecter la qualité de l'eau, mais aussi, comme nous le verrons plus loin, la qualité des sols, de l'air et la diversité biologique des organismes naturels. Or, la plupart des problèmes inhérents à l'agriculture industrielle sont plus

prononcés encore lorsque la production de viande est impliquée parce qu'une quantité significative d'énergie est perdue durant la conversion des graines en viande. Les bovins ont le taux de conversion le moins efficace, car il faut 7 kilogrammes de graines pour produire 1 kilogramme de viande alors que ce facteur de conversion est de 4 :1 pour les porcs et 2 :1 pour les poulets (Heap et Kent, 2000 et Worldwatch Institute, 1998 cités dans Horrigan *et al.*, 2002 : 445, 448).

Comme la problématique de la production porcine intensive ne peut être traitée indépendamment de l'agriculture intensive puisque les cultures servent à la fois de nourriture²⁴ et à l'épandage des déjections animales, l'examen des impacts environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires de l'ensemble de l'agroécosystème doit être considéré afin de mettre en exergue tous les impacts directs et indirects, connus et potentiels. S'inspirant des mêmes approches écosanté²⁵ et cycle de vie²⁶ qui seront utilisées pour répondre aux questions de recherches et décrites dans le chapitre IV, nous présentons en même temps, l'examen des impacts environnementaux (eau, air, sol et biodiversité) et sociosanitaires de cette production porcine intensive afin de faciliter la compréhension des liens qui les unissent puis nous concluons cette section par la présentation des impacts zoosanitaires.

2.4 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO SANITAIRES DE L'AGRICULTURE ET DE LA PRODUCTION PORCINE INTENSIVE

Au plan environnemental, les impacts de ces productions porcines fortement concentrées ont lieu à des distances et à des échelles variables (*voir* Appendice A) et ce tout au long du cycle de vie des divers produits (Massari, 2000; OCDE, 2003; *voir* Appendices B et C). L'eau, l'air, le sol et la biodiversité peuvent tous être affectés par la production porcine

²⁴ En 1995, 43% du maïs-grain produit au Québec servait à nourrir le porc (Gagné, 1995).

²⁵ L'approche écosanté reconnaît «qu'il y a des liens inextricables entre les humains et leur environnement biophysique, social et économique et que ces liens se répercutent sur la santé des individus» (Lebel, 2003)

²⁶ «L'approche du cycle de vie couvre les possibilités et les risques liés à un produit ou à une technologie sur toute la chaîne qui va de l'extraction des matières premières à l'élimination du produit en fin de vie utile.» (PNUE, 2004)

ce qui témoigne de la complexité des liens entre la production animale et l'environnement (OCDE, 2003; voir Appendice D). Les sources à l'origine des impacts environnementaux de la production porcine étant multiples, «[l]a principale menace pour l'environnement [...] vient du fait que 60 à 80% de l'azote et du phosphate qu'absorbent les bêtes en s'alimentant sont rejetés sous forme d'excréments solides, liquides et gazeux.» (*ibid.*)

La tenue en 2002-2003 des audiences du BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec, faisant suite à un large mouvement de contestation publique, a permis de débattre publiquement des impacts environnementaux de cette forte concentration de la production porcine. Alors que «la pollution de type ponctuelle a beaucoup régressé», c'est la pollution diffuse qui est dorénavant problématique «d'autant plus que le volume de la production porcine s'est accru rapidement et que la production s'intensifie» (BAPE, 2003a : 14). Le niveau de production est tel que «la pression engendrée par la production porcine tend à dépasser la capacité de charge des écosystèmes, en raison de l'intensité des interventions, de l'extension des productions et des quantités de déjections qu'il faut gérer» (DURA15 : 3 cité dans BAPE, 2003a : 14). En 2001, les déjections animales de 98,2% du cheptel porcin étaient gérées sous forme de lisier (FULI57 et PROD6 : 42 cités dans BAPE, 2003b : 104) et «58,8 % des déjections produites étaient épandues sur les terres possédées par d'autres entreprises, sous la responsabilité d'un organisme de gestion des fumiers ou d'un centre de traitement, ou avaient d'autres destinations.» (BAPE, 2003b : 114) Exigeant aux producteurs de parcourir en moyenne 2,3 km pour épandre leurs lisiers ou leurs fumiers solides (FULI45 : 20 et PROD69 : 6 cités dans BAPE, 2003b : 114), cela ne va pas sans contribuer encore davantage à l'émission de gaz à effet de serre (GES) responsables des changements climatiques. En outre, certains des plus gros producteurs porcins, n'ayant pas suffisamment de terres à fertiliser, procèdent même à l'épandage en absence de plantes, sur la neige et même sur d'anciens boisés déboisés (Bouthillier, 2006). Toujours en 2001, la quantité de lisier de porcs produite annuellement était estimée à 6 565 350 000 litres (FULI49 cité dans BAPE, 2003b : 104). «Si de l'équipement de réduction des pertes d'eau est utilisé, un porc à l'engraissement produira en moyenne entre 5,1 et 6 litres de lisier par jour. S'il n'y

a pas d'équipement de réduction des pertes, le volume moyen de lisier sera de 6,8 à 8 litres par jour.» (FULI47 cité dans BAPE, 2003b : 105)²⁷.

Dans un document remis par la Fédération des producteurs de porcs du Québec au BAPE sur la production porcine québécoise, on y affirmait que :

Selon les données du Plan agroenvironnemental des fermes du Québec (BPR [Groupe conseil], GREPA [Groupe de recherche en économie et politique agricoles] 2000), les entreprises spécialisées en production porcine disposent en moyenne de 1,2 sites d'élevage, et le site porcin abrite 218 unités animales^[28], soit l'équivalent de 1090 porcs à l'engraissement. Les sites abritant moins de 100 unités animales (équivalent à 500 porcs à l'engraissement) représentent 33 % de tous les sites porcins. Par contre, les sites comptant 500 unités animales et plus (équivalent à 2500 porcs à l'engraissement) représentent 7% des sites.

Trois régions administratives comptent 1975 exploitations agricoles porcines, soit 72% des exploitations recensées : Chaudière-Appalaches (35%), Montérégie-Est (25%) et Centre du Québec (12%) (FPPQ, 2002a : 7).

En ce qui a trait aux impacts sociosanitaires de la production porcine intensive, Cole et ses collègues (2000 : 685) de l'University of North Carolina affirment que plusieurs facteurs limitent notre habileté à définir et à quantifier ses impacts sur la santé des travailleurs (fermiers, transformateurs alimentaires et vétérinaires) et des résidents permanents. La littérature concernant les travailleurs est toutefois plus abondante étant donné que les incidences infectieuses sont plus fréquentes chez ce groupe de personnes. Bien que plusieurs impacts puissent être identifiés, le faible niveau de connaissance serait dû, toujours selon Cole *et al.* (p. 685, 691), à «[o]ur incomplete understanding and ability to detect specific exposures ; the complicated nature of disease ethiology, pathogenesis, and surveillance ; and the inherent difficulties associated with the study design». Les publications rapportant l'émergence de maladies provenant de zoonoses seraient surtout limitées à des cas précis dont plusieurs sont anecdotiques et n'apparaissent pas dans les publications. Il demeure que plusieurs impacts sociosanitaires sont observés et reliés, comme on le verra, à l'exposition

²⁷ Les eaux de précipitation ne sont pas incluses dans ces estimations.

²⁸ Une unité animale (UA) équivaut à 4 truies et les porcelets non sevrés ou 5 porcs à l'engrais ou 20 porcelets.

aux microorganismes pathogènes, aux nitrates, aux sous-produits de chloration, aux toxines des cyanobactéries, aux odeurs et aux particules respirables.

2.4.1 Eau

L'eau douce est dès à présent aux deux tiers consacrée à l'agriculture (WRI, 2000 : 64), sans égards aux meilleures pratiques d'irrigation et de réduction de la pollution diffuse. À la faveur des changements climatiques et de la dégradation de la biodiversité et de leurs multiples impacts (sécheresses, inondations, événements extrêmes, effets de la privatisation des ressources hydriques, des infrastructures et services d'eau, etc.) cette source de vie, déjà insuffisante en quantité et qualité pour plus de 1.1 milliard d'êtres humains, constitue un enjeu planétaire désormais incontournable (Vandelac, 2006a).

Si l'agriculture affecte les ressources aquifères soit par la pollution ou soit par une utilisation plus rapide que la régénération des eaux souterraines et de surface, réduisant dès lors son utilisation pour d'autres usages (Horrigan *et al.*, 2002 : 447), cela est particulièrement vrai pour la production porcine intensive.

L'OCDE résume assez bien les problèmes de surconsommation d'eau qu'exige la production porcine intensive.

L'intégration verticale de la production de porcs peut être très consommatrice en eau, l'abattage et la transformation d'un porc demandant plus de 700 litres. Là où les besoins des grands élevages de porcs aboutissent à abaisser les niveaux d'eau destinée à la consommation humaine, il peut y avoir des répercussions sur les nappes aquifères et les puits qui assurent l'alimentation en eau potable ; la réduction des ressources en eau peut également affecter les écosystèmes aquatiques (Manitoba Commissioner, 1999). Il n'en reste pas moins que l'utilisation d'eau pour l'irrigation des cultures destinées à l'alimentation des porcs en élevage clos ponctionne peut-être davantage de ressources que les volumes utilisés pour la transformation (2003 : 43).

L'industrialisation des élevages porcins a été rendue possible grâce à une panoplie de nouvelles stratégies de production, parmi lesquelles la gestion des déjections animales sous forme de lisier a sans doute été l'une des transformations majeures ayant eu le plus d'impact

sur la pollution des cours d'eau. Le recours au lisier, pratiqué par 98,2% des producteurs québécois (FULI57 et PROD6 : 42 cités dans BAPE, 2003b : 104), a augmenté les volumes de déjections à gérer, dû à la dilution du fumier dans l'eau. En outre, l'augmentation des troupeaux par superficie cultivée, favorisée par des politiques publiques centrées sur l'augmentation des exportations, entraînent aujourd'hui de graves conséquences sur les ressources hydriques.

Le lisier est formé non seulement de déjections animales, mais aussi de rejets alimentaires, d'eaux résiduelles d'abreuvement, d'eaux de lavage (peut aussi contenir des eaux de précipitation) et même de poils (MEMO303 : 12 cité dans BAPE, 2003b : 104; Aubry, 2007 : 12). Le lisier contient également beaucoup d'eau, de matières organiques, d'azote, de phosphore²⁹, de minéraux et de métaux lourds (cuivre, zinc, cadmium³⁰), d'oestrogènes, de résidus d'antibiotiques, de médicaments et d'agents pathogènes (bactéries, virus et protozoaires). (Baril, 2002a cité dans Coalition Eau Secours !, 2003; TRAN6 : 6 cité dans BAPE, 2003b : 106; OCDE, 2003).

Ainsi, lorsqu'il y a surfertilisation, fuite ou écoulement des fosses d'entreposage, la qualité de l'eau locale peut être altérée par une des composantes contenues dans le lisier. Les nutriments contenus dans le lisier, principalement l'azote et le phosphore, sont parmi les facteurs de pollution qui ont les impacts les plus considérables sur la qualité des eaux souterraine et de surface. Le porc ne retenant que 30% de l'azote ingéré sous forme de protéine, l'excédant est excrété sous forme de fumier ou d'urine (PROD6 : 133 cité dans BAPE, 2003b : 81). Ainsi, suite à l'épandage des lisiers, les nappes phréatiques peuvent être contaminées par des nitrates (BAPE, 2003a : 15) qui, lorsque l'eau est absorbée en excès, peuvent même aller jusqu'à causer le syndrome du bébé bleu³¹. Cependant, un des problèmes les plus importants est lié à l'enrichissement des plans d'eau en nutriments. L'épandage

²⁹ «Une proportion de 85 % de l'azote et de 13 % du phosphore est excrétée dans les urines et la proportion est à l'inverse dans les fèces (M. Pierre Baril, TRAN6, p. 6)». (BAPE, 2003b : 106)

³⁰ «Les porcs n'absorbent que 5 à 15% des additifs métalliques et excrètent le reste» et le cadmium est un «polluant qui résulte de l'inclusion du phosphate dans l'alimentation animale» (OCDE, 2003 : 42)

³¹ «L'ingestion d'une eau en contenant plus de 20 milligrammes par litre peut nuire au transport de l'oxygène dans le sang [méthémoglobinémie], et ce, tout particulièrement chez les nouveau-nés, qui présentent alors des signes de bleuissement.» (Aubry, 2007 : 12; voir aussi Cole *et al.*, 2000 : 688).

massif de lisier riche en phosphore et en azote servant de fertilisant organique aux cultures, tend à dépasser la capacité de support des écosystèmes impliqués surtout quand la concentration en phosphore excède la capacité de liaison anionique au sol, causant le lessivage du phosphore dans les eaux douces et marines de surface (Forsberg *et al.*, 2003). Aussi, le ruissellement de l'eau et l'érosion hydrique³² entraînent vers les cours d'eau des particules de sols sur lesquelles peuvent se retrouver des nutriments (Horrigan *et al.*, 2002), ce qui au bout du compte, cause des problèmes d'eutrophisation, c'est-à-dire de prolifération d'algues bleu-vert toxiques ou de cyanobactéries. Selon l'importance de l'enrichissement du milieu en nutriments, la prolifération de cyanobactéries peut entraîner la réduction de l'oxygène (anoxie), la perturbation des réseaux alimentaires, la mort des organismes aquatiques tout en augmentant la production de GES (Golovan *et al.*, 2001a; MENV, 2003). L'eutrophisation représente notamment un risque pour la santé publique et les populations animales puisque certaines des espèces phytoplanctoniques, comme les cyanobactéries, biosynthétisent des neurotoxines et des hépatotoxines (Bouaïcha, 2001), ce qui peut nuire à la baignade et aux activités aquatiques puisqu'une telle exposition peut causer une irritation de la peau, du nez, de la gorge et des yeux, alors qu'une ingestion des toxines entraîne des problèmes de nature gastro-intestinale (MSSS, 2007).

Bien que les cyanobactéries aient toujours été présentes dans les plans d'eau du Québec, elles sont désormais plus abondantes que jamais. Le critère pour la prévention de l'eutrophisation a été fixé à 0,030 mg PT/l.³³ par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Or, la concentration médiane de phosphore total dans certaines rivières est de deux à six fois plus élevée (MDDEP, 2005 : v) alors que des taux d'eutrophisation de 90% ont été observés dans les rivières Yamaska, des Mille-Îles, Châteauguay et L'Assomption (Shields, 2007a). À l'été 2007, c'est plus de 120 lacs du Québec qui subissaient les effets de l'eutrophisation (Darier, 2007b), chiffre qui frisera les 150 à la fin de l'été. Bien qu'un plan de lutte contre les cyanobactéries ait été lancé par le gouvernement québécois le 4 juin 2007 (Québec, 2007), Éric Darier de Greenpeace estime

³² «[U]ne terre qui reçoit une monoculture de maïs peut perdre de 5 à 10 fois plus de sol à cause de l'érosion hydrique qu'une terre où se pratique la rotation des cultures, ce qui contribue à apporter des substances nuisibles aux milieux aquatiques.» (Coalition Eau Secours !, 2003 : 11)

³³ Phosphore total par litre.

que le «plan ne prévoit aucune cible précise de réduction de la dissémination du phosphore dans l'environnement résultant des activités agricoles bien qu'elles soient «la principale source de phosphore» rejeté dans la nature» (Shields, 2007a). Plus grave encore, le 6 décembre 2006, un accord entre le gouvernement québécois et l'Union des Producteurs agricoles (UPA) a permis au secteur agricole d'être exempté de nouvelles mesures environnementales jusqu'en 2010 (MDDEP, 2006). Ces dernières mesures gouvernementales témoignent donc du fait que les problèmes liés au surplus de phosphore et de tous les autres composants présents dans les lisiers se maintiendront dans les années à venir et pourront même s'accroître si les volumes d'épandages de lisier par superficie de terre ne sont pas restreints.

Sur le plan des autres agents pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, parasites), lessivés dans les cours d'eau, ceux-ci représentent aussi une menace aux écosystèmes aquatiques affectant les poissons et les coquillages et causant aussi plusieurs problèmes de santé animale et humaine suite à la consommation d'eau contaminée (OCDE, 2003 : 34). Par exemple, la fuite de fumiers des fermes industrielles est suspectée avoir entraîné l'apparition de *Pfiesteria piscicida* au Maryland, en Virginie et en Caroline du Nord causant, chez les personnes en contact avec l'eau contaminée, divers symptômes de perte de mémoire à court terme, d'altérations cognitives, de signes d'asthme, de dysfonctions hépatique et rénale, de troubles de la vision et de vomissements (Glasgow *et al.*, 1995 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 451). D'autres agents pathogènes excrétés par les animaux d'élevage sont des bactéries comme *Escherichia coli*, *Salmonella* ssp. et *Streptococcus* spp. et des protozoaires comme *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* ainsi que bon nombre de virus (Mawdsley *et al.*, 1995; Horrigan *et al.*, 2002 : 451). Quant aux humains exposés à des plans d'eau contaminés par des agents pathogènes, ceux-ci peuvent souffrir d'infections aux yeux, aux oreilles, à la peau et à des troubles gastro-intestinaux (MDDEP, 2002).

Étant donné qu'environ 80% de la population québécoise s'approvisionne en eau de surface pour son alimentation en eau potable (BAPE, 2003b : 188), la présence de matière organique générée par l'épandage du lisier peut compliquer le traitement de l'eau. C'est que les sous-produits de la désinfection de l'eau potable par le chlore (trihalométhanés et acides

haloacétiques), auraient à long terme des effets cancérogènes (vessie) et pourraient affecter la reproduction et le développement fœtal (avortement spontané, retard de croissance et malformations congénitales (SANTÉ3 : 78, 79, 81, 82 cité dans BAPE, 2003b : 188, 219)

Il importe de mentionner au passage qu'en dépit d'améliorations considérables, en regard du statut sanitaire des élevages, réalisées au cours des dernières années, il demeure que les conditions de surpeuplement des fermes industrielles augmentent le niveau de contamination alors que les méthodes d'abattage automatisées à grande vitesse ainsi que la transformation des animaux rendent difficile la détection des diverses contaminations possibles (Horrigan *et al.*, 2002 : 451).

Pour terminer avec les impacts de la présence de microorganismes dans les plans d'eau, ce sont les résidus d'antibiotiques qui se retrouvent eux aussi dans ces mêmes plans d'eau, suite à l'administration d'antibiotiques aux animaux, qui soulèvent les questions du développement de la résistance bactérienne par le truchement du transfert de gènes de résistance à des bactéries dont l'humain est porteur. C'est le recours quotidien aux antibiotiques, pour le traitement de maladies ou comme promoteur de croissance chez les animaux d'élevage³⁴ (NAS, 2002; BAPE, 2003b : 86) qui, appliquant une pression de sélection sur la microflore normale et pathogène des animaux, force l'émergence de bactéries résistantes à ces antibiotiques. Capables de survivre dans l'environnement, elles peuvent transmettre leurs propriétés aux bactéries des animaux et des humains, problèmes de santé publique désormais largement reconnus (Cole *et al.*, 2000 : 685; Horrigan *et al.*, 2002 : 445; Gilchrist *et al.*, 2007). Les antibiotiques étant la plupart du temps les seuls agents thérapeutiques capables de contrer certaines infections bactériennes, l'émergence de résistance bactérienne laisse dans ces cas peu ou aucun choix de traitement antimicrobien.

³⁴ «Administrés à faible dose dans les moulées durant une certaine période de temps, les antimicrobiens agissent sur la flore intestinale des porcs et améliorent la digestion des aliments. Dans certains cas, cette réaction stimule la croissance de l'animal ou améliore la conversion alimentaire. L'augmentation du gain moyen quotidien est très variable selon les substances utilisées et les conditions d'élevage des animaux, mais elle varie habituellement entre 0 % et 10 %.» (BAPE, 2003b : 86).

On connaît mal l'ampleur des impacts du recours à ces antibiotiques pour les traitements vétérinaires et la stimulation de la croissance en raison du manque de suivi. Le BAPE rapportait en 2003 (b : 85) que «[l]es quantités exactes de médicaments utilisés dans le secteur porcin [n'étaient] pas connues (PROD53) et qu'«il n'[existait] pas de registre central où serait comptabilisée l'utilisation d'antibiotiques dans le cas des animaux (M. Sylvain Quessy, TRAN10, p. 103).»

Lorsque des éléments nutritifs, des matières en suspension, des pesticides et des microorganismes se retrouvent en grande quantité dans l'eau, les problèmes des cultures s'ajoutant, ils peuvent «limiter les usages de l'eau tels l'approvisionnement en eau potable et les activités aquatiques et récréatives, perturber les composantes des écosystèmes et nuire à la santé humaine» (BIO6,1 : 11 cité dans BAPE, 2003b : 174). Les sources de pollution des cours d'eau étant nombreuses, on connaît mal la proportion provenant des installations porcines dont la mesure où les prélèvements d'eau pour analyse se faisant à l'embouchure des cours d'eau, cela ne permet pas de faire la distinction des différentes sources, ce qui contribue à amplifier les impacts provenant des effluents d'élevage porcin (Vandelac et Beaudoin, 2007).

2.4.2 Air

Sur le plan de la pollution de l'air, la production porcine intensive cause l'émission atmosphérique de plusieurs gaz, de poussières et de microorganismes occasionnant des problèmes tant à l'échelle locale que globale.

Selon la FAO (2006), l'élevage serait responsable d'environ 18% des émissions de GES et représente 9% des émissions anthropiques de gaz carbonique «dont l'essentiel est dû à l'expansion des pâturages et des terres arables pour les cultures fourragères, et engendre des émissions bien supérieures d'autres gaz ayant un potentiel de réchauffement de l'atmosphère». Ont été considérés dans ces estimations, l'addition des

émissions dans toute la filière de l'élevage- depuis la production fourragère (qui comprend la production d'engrais chimiques et la déforestation pour la conversion en

pâturages et en cultures fourragères, et la dégradation des pâturages), la production animale (y compris la fermentation entérique et les émissions d'hémioxyde d'azote du fumier) aux émissions de dioxyde de carbone durant la transformation et le transport de produits animaux.» (FAO, 2006)

En 2006 au Québec, le secteur agricole³⁵ aurait été responsable de 9,4% des émissions en équivalent de gaz carbonique (CAAAQ, 2008). Sur le plan de la production porcine, les sources de production, directe et indirecte, de GES sont diverses. Selon les méthodes de gestion des lisiers actuellement pratiquées, une des source majeure de GES est «la production du méthane provenant du secteur porcin [qui] équivaut à environ deux millions de tonnes par an sur un total de 3,7 millions de tonnes équivalent CO₂, ce qui correspond à 54% des émissions provenant de la gestion des fumiers» (Soussi-Gounni *et al.*, 2006).

La route que les porcs empruntent de la ferme à l'assiette en est une particulièrement intensive en ce qui a trait à l'énergie consommée car le transport, la transformation et l'emballage de la nourriture requièrent de grandes quantités d'essence (Horrigan *et al.*, 2002 : 448). Si on considère que les besoins alimentaires seront plus importants pour les vingt prochaines années et que, par le fait même, la consommation de viande s'accroîtra, il est indéniable que la contribution de l'agriculture aux GES s'accroîtra aussi.

En ce qui a trait au mélange gazeux provenant des bâtiments d'élevage, des structures d'entreposages et de l'épandage des lisiers et fumiers (Cole *et al.*, 2000 : 693; BAPE, 2003a : 15) celui-ci est principalement formé de GES dont le méthane, l'oxyde nitreux, et le dioxyde de carbone³⁶ (OCDE, 2003 : 40-41; BAPE, 2003a : 15). Plusieurs autres gaz sont aussi produits comme le sulfure d'hydrogène, un gaz toxique, ou l'ammoniac, responsable de l'acidification des sols via les pluies acides (BAPE, 2003a : 15).

³⁵ «Il existe trois gaz à effet de serre importants pour le secteur agricole, soit le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). [...] Une molécule de méthane captera autant d'énergie thermique dans l'atmosphère que 21 molécules de dioxyde de carbone, produisant ainsi 21 équivalents de CO₂. L'oxyde nitreux captera 310 fois plus de chaleur que le CO₂, ce qui fait du N₂O le plus puissant des trois GES d'origine agricole.

³⁶ Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂) est entre autres produit par le chauffage et la ventilation mécanique des bâtiments d'élevage (OCDE, 2003 : 41).

Ainsi, les odeurs générées sur une ferme porcine intensive proviennent d'un amalgame de gaz dont Roch (2004) explique l'origine.

Les odeurs dans les élevages résultent de la décomposition anaérobie (en absence d'oxygène) de divers composés organiques provenant des déchets métaboliques, de la portion non digestible des aliments consommés (hydrates de carbone, acides gras, protéines et minéraux) et des aliments gaspillés, jetés dans les dalots.

Ces composés organiques sont dégradés par la population bactérienne présente dans le gros intestin du porc ou dans le lisier. Dans les lisiers, 168 composés volatils ont été identifiés comme potentiellement responsables de l'émission d'odeurs. De ce groupe, 30 sont facilement identifiables par l'être humain (Roch, 2004).

Ces gaz provenant du fumier des élevages industriels créent des risques potentiels pour la santé humaine des travailleurs et des résidents vivant à proximité (Cole *et al.*, 2002; Horrigan *et al.*, 2002 : 451; OCDE, 2003 : 40; Heederik *et al.*, 2007). La prévalence des maladies respiratoires occupationnelles (asthme occupationnel, bronchite aiguë et chronique, syndrome toxique de la poussière organique) peut même atteindre jusqu'à 30% des travailleurs de fermes industrielles (Choinière et Munroe, 1993). Une autre étude, réalisée à l'Université d'Iowa, a quant à elle découvert que la prévalence de certains problèmes de santé : maux de tête, problèmes respiratoires, irritation des yeux, nausée, faiblesse, contraction de la poitrine, était plus élevée dans les populations humaines vivant près des installations porcines de grande échelle (Thu *et al.*, 1997 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 451). Fait intéressant, l'ammoniac et d'autres gaz provenant du fumier irritent même les poumons des animaux, les rendant plus susceptibles à développer une pneumonie. Des chercheurs de l'Université du Minnesota ont ainsi trouvé sur les poumons des lésions apparentées à la pneumonie chez 65% de 34 000 porcs inspectés (Davies *et al.*, 1995 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 449).

Cole *et al.* (2000) rapportent plusieurs travaux sur les impacts sociosanitaires des mauvaises odeurs sur des populations humaines vivant à proximité d'importantes installations porcines.

Shiffman (192) described how airborne emissions can affect health through direct irritant and psychophysiologic mechanisms. Odorous mixtures can cause sensory irritation in the eye, nose, and throat by activating at least five cranial nerves that have receptors in the nasal cavity, oral cavity, and eyes. Irritants can affect respiratory volume (193,194) and can induce inflammatory responses (195,196). People who have pre-existing respiratory problems may be particularly vulnerable to the adverse effects of irritants, and can experience an increase in nasal resistance, respiration rates, and heart rates after exposures (197,198). Odorants positively or adversely affect mood and stress depending on whether the odor is perceived as pleasant or unpleasant (191,199,200) (Cole *et al.*, 2000 : 693).

En ce qui a trait aux poussières et aux microorganismes émis par les bâtiments d'élevage, on connaît mal leur issue dans l'environnement, mais on sait qu'ils «sont une nuisance importante pour le personnel employé dans les élevages et pour la population voisine (ISU [Iowa State University], 2002).» (OCDE, 2003 : 40, 42) À cet effet, Chaplin *et al.* (2005) ont même découvert que l'inhalation d'air des établissements d'élevage représente une voie d'exposition pour le transfert d'agents pathogènes, résistants à divers antibiotiques, des porcs aux humains.

Le BAPE (2003a : 19) affirmait d'ailleurs dans son rapport principal que l'épandage du lisier diffuse, dans le milieu, de très fortes odeurs et cette contrainte est perçue comme une atteinte à la zone de confort et à la qualité de vie des résidants. Le domicile ayant moins d'agrément, il est possible que la valeur marchande des propriétés soit dépréciée (Herriges *et al.*, 2005). Deuxièmement, le producteur porcin n'est plus perçu comme un voisin, mais comme un intrus et il s'aliène alors de son milieu de vie. En fait, un réel fossé s'est creusé entre le monde agricole et le monde rural par la concentration accrue et la diminution du nombre de fermes, ce qui peut entraîner un sentiment d'aliénation chez les personnes vivant à proximité des lieux de production pouvant se manifester par bon nombre de malaises physiques comme le stress, l'anxiété, la colère, les maux de tête, les migraines, la dépression, etc. Paradoxalement, les cultivateurs, eux-mêmes, connaissent un des plus hauts taux de suicide au Québec (Bouthillier, 2006). Cela n'est manifestement pas étranger au fait que les fermes familiales rencontrent de sérieuses difficultés financières, font faillite et disparaissent.

L'Office of Technology Assessment des États-Unis avait déjà observé, en 1986, ce phénomène de dégradation du tissu social causé par la concentration de la terre et du capital. «We have found depressed median family incomes, high level of poverty, low education levels, social and economic inequality between ethnic groups, etc., ... associated with land and capital concentration in agriculture». (cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 446)

Ainsi, l'agriculture industrielle dont la tendance vise toujours à accroître la productivité, le rendement, n'est pas sans affecter le tissu social dont la consolidation des fermes mène ultimement à la détérioration des communautés rurales (Strange, 1988 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 446). La présidente de la Commission du BAPE sur les élevages porcins avait même affirmé «qu'il serait périlleux, sur le plan social, de lever le moratoire tant que des gestes concrets ne seront pas posés», allant même jusqu'à évoquer une crise sociale dans le milieu rural si le cadre de décision relatif à la production porcine demeurerait inchangé.» (Bouthillier, 2006) À ce sujet, le colloque *Agriculture, Société et Environnement, Vers une harmonisation écologique et sociale : le cas des porcheries industrielles au Québec*, organisé en février 2006 à l'Université du Québec à Montréal (UQÀM), a réuni des panélistes de divers horizons qui ont pu débattre de l'acceptabilité écologique et sociale de la production porcine intensive et des conditions de «cohabitation harmonieuse» qui demeuraient, encore à l'époque, toujours litigieuses (Proulx et Sauvé, 2007).

2.4.3 Sol

La production porcine intensive et l'agriculture intensive qui y est liée, notamment de maïs, menacent la santé du sol parce qu'elle détériore la structure des sols, diminue la matière organique, tue les organismes bénéfiques dans le réseau alimentaire du sol et cause de l'érosion hydrique et éolienne (Horrigan *et al.*, 2002 : 447; BAPE, 2003a : 15). Dans la mesure où le Québec compte plus de 50 000 hectares de terre agricoles dézonées depuis 1994 (Shields, 2007b), que les sols cultivables représentent moins de 2% des terres québécoises, superficies très limitées et non renouvelables, et que les superficies destinées à l'agriculture sont grugées par l'étalement urbain, c'est aussi la quantité de sols cultivables de qualité qui est aujourd'hui menacée alors qu'aucune réserve n'existe (*ibid.*).

En ce qui a trait à l'impact direct de la production porcine sur les sols, suite à l'épandage de lisiers, notons que des métaux lourds, comme le zinc, le cuivre et le cadmium, s'accumulent dans le sol, portant atteinte aux qualités fonctionnelles des sols et contaminant les récoltes, d'où l'existence d'un risque potentiel pour la santé publique (Haan *et al.*, 1998 cité dans OCDE, 2003 : 42; BAPE, 2003a : 15). «L'absorption par les cultures d'agents pathogènes émanant des effluents d'élevage est également préoccupante pour l'environnement et la santé, mais [...] des recherches supplémentaires sont nécessaires dans ce domaine (USEPA, 1999a).» (OCDE, 2003 : 42)

2.4.4 Biodiversité

Les multiples impacts de la production porcine intensive et de l'agriculture intensive, unis par des liens complexes impliquant l'eau, l'air et le sol, affectent donc la diversité des cultures et des animaux d'élevage et plus globalement la diversité biologique des organismes naturels.

Les variations génétiques, fondements mêmes de la diversité biologique, ou de la biodiversité, se manifestent tant au niveau de l'organisation des gènes que des espèces et des écosystèmes (Seutin, 1997 : 14). Plusieurs raisons attestent de l'importance de la biodiversité. Partout sur la planète, la biodiversité permet le recours à plusieurs variétés de plantes, d'animaux et de microorganismes pour l'agriculture qui sont les mieux adaptés pour chaque région donnée (Shiva, 2004). En outre, c'est la valeur intrinsèque des espèces dans la nature qui revêt une importance cruciale dans l'équilibre et la résilience des écosystèmes lors de perturbations environnementales.

La diversité biologique est aussi exploitée en tant que matériel génétique, c'est-à-dire que n'importe quel organisme peut contenir des gènes utiles pour le secteur de la santé, pour le développement de nouveaux médicaments et en agriculture, pour *l'amélioration* des espèces pour la production agroalimentaire (*Ibid.*). Rifkin affirmait même en 1998 que les gènes seront dorénavant l'«or vert» du prochain siècle : le siècle des biotechnologies. En effet, «les forces économiques et politiques qui contrôlent les ressources génétiques de la

planète exerceront à l'avenir un pouvoir démesuré sur l'économie mondiale». Dans les années à venir, l'exploitation des réserves génétiques de la planète, qui sont en voie d'appauvrissement rapide, va devenir de plus en plus rentable, du moins pour ceux qui en seront propriétaires via le versement de redevances. Déjà, les États et les entreprises multinationales explorent les moindres recoins des cinq continents dans la recherche de ce nouvel or vert. Ils espèrent identifier des microbes, des végétaux, des animaux et des êtres humains porteurs de caractéristiques génétiques rares pour pouvoir exploiter leur potentiel commercial (*ibid.*). Une fois localisées, ces caractéristiques génétiques sont brevetées, garantissant des redevances de la part de quiconque voudrait utiliser leur nouvelle «invention», puis sont étudiées dans le but notamment de produire de nouveaux médicaments ou des produits cosmétiques. Étant donné que «les connaissances, les capitaux, les marchés, les organismes de recherche et les entreprises de l'industrie de la vie se trouvent essentiellement» dans les pays du Nord et que «les écosystèmes les plus riches en ressources génétiques et la majorité des petits paysans utilisant des variétés rustiques ou des plantes sauvages se trouvent» dans les pays du Sud» (Wilson, 1992 cité dans Hufty, 2001), une problématique sans précédent oppose désormais les pays des hémisphères Nord-Sud dans le partage des ressources et du transfert des technologies, transgressant dès lors l'article 1 de la *Convention sur la Diversité Biologique* (CDB), exigeant un tel partage, entré en vigueur en 1993 suite au «Sommet de Rio».

Aujourd'hui, l'agriculture dépend de la biodiversité pour son existence, mais elle représente aussi une menace au maintien de son intégrité. L'agriculture intensive érode en effet la biodiversité par ses impacts environnementaux en cascades, ses monocultures transgéniques responsables de pollution génétique et exigeantes en pesticides et aussi à cause du faible nombre de variétés végétales cultivées ou de races animales élevées dont plusieurs sont en péril ou carrément disparues.

La FAO soulignait en 2006 que :

La quantité d'animaux destinés à la consommation représente également un péril pour la biodiversité de la Terre. Les animaux d'élevage constituent environ 20 pour cent de la biomasse animale terrestre totale, et la superficie qu'ils occupent aujourd'hui était

autrefois l'habitat de la faune sauvage. Dans 306 des 825 écorégions terrestres identifiées par le Fonds mondial pour la nature (WWF), les animaux de ferme sont identifiés comme "une menace", tandis que 23 des 35 points chauds du monde pour la biodiversité de Conservation International - caractérisés par de graves niveaux de perte d'habitats ressentent de l'élevage (FAO, 2006).

Plus spécifiquement, l'OCDE (2003) rapporte l'impact de la filière porcine sur la diversité d'espèces sauvages :

Les relations entre la filière porcine et la *diversité des espèces sauvages* soulèvent une série de problèmes. La faune sauvage, terrestre ou aquatique, peut souffrir de la pollution de l'eau et de l'air provoquée par les porcheries. En outre, les espèces sauvages risquent de subir indirectement les effets de la production d'aliments destinés à la filière porcine, même si leur amplitude dépend des modes de gestion agricole et des techniques de production des cultures correspondantes. Il est difficile d'isoler les incidences spécifiques sur la faune sauvage de la production de porcs des retombées globales de l'agriculture et de l'élevage sur les écosystèmes (2003 : 44).

Le Québec n'étant pas en reste, les dommages causés sur l'eau, l'air et les sols entraînent de nombreux impacts sur la faune et la flore engendrant potentiellement une diminution de la biodiversité (BAPE, 2003a : 15). Par exemple, la réduction d'habitats par le déboisement afin d'épandre le lisier ou pour d'autres fins, diminue les zones habitables, déjà très restreintes, de plusieurs organismes végétaux et animaux alors que, comme nous l'avons vu, la détérioration des cours d'eau entraîne aussi des répercussions majeures sur l'écosystème aquatique (*ibid.*; MENV, 2003). L'utilisation de fertilisant en excès peut avoir un impact direct sur la biodiversité. Par exemple, une minorité d'espèces étant capables d'évoluer dans des environnements riches en azote, le ruissellement de l'azote dans les cours d'eau fait en sorte que ceux-ci prennent toute la place des autres espèces dans l'écosystème (Moffat, 1998 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 448). Mais ce sont surtout les impacts indirects de la présence du phosphore qui ont sans doute le plus d'impact avec ses effets en cascades sur la prolifération des cyanobactéries, de l'anoxie qu'ils entraînent et de la mort d'organismes aquatiques de toute la chaîne alimentaire.

En ce qui a trait aux impacts sur la biodiversité des différentes cultures vivrières, la consolidation continue de l'industrie des graines a eu de graves conséquences sur la disponibilité des variétés de plantes non hybrides (Shiva, 2004). De fait, en 1981, environ

5000 variétés végétales non hybrides étaient vendues grâce à un service de courrier alors qu'en 1998, 88% de ces variétés avaient été abandonnées (Whealy, 1999 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 448) et 10% des plus grandes compagnies semencières contrôlaient 30% du marché global (Rural Advancement Foundation International, 2000 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 448).

Ce phénomène de consolidation de graines par l'industrie semencière se traduit ainsi à travers les pratiques monoculturelles souvent omniprésentes dans les régions soumises à une agriculture intensive. Au Québec, le manque de terre pour épandre le lisier a incité à cultiver davantage de maïs-grain capable d'absorber de grandes quantités de fertilisants organiques qui, en l'occurrence, est très productif et nutritif pour les porcs. L'intensification de la production porcine a ainsi stimulé la déforestation d'habitats naturels et la production de monocultures de maïs (Bonhomme, 2003 : 45; Coalition Eau Secours!, 2003 : 9; Aubry, 2007 : 12).

Dans son mémoire déposé au BAPE, la Coalition Eau Secours! (2003) affirmait qu'

en vingt ans, la superficie cultivée en maïs a augmenté de 400%. Plus précisément, elle s'est accrue de 29% depuis 1996 (Giroux, 2002). Ce sont maintenant près de 20% des terres cultivées de la province qui sont consacrées au maïs. Nous le savons, les monocultures offrent un milieu propice à la prolifération des insectes nuisibles et des mauvaises herbes, ce qui entraîne une utilisation accrue de pesticides. De plus, nous avons abandonné au Québec une partie importante des pratiques culturelles en vigueur avant l'industrialisation de l'agriculture visant à protéger le sol, ce qui a aussi des impacts importants sur l'eau.

La culture du maïs exige l'emploi de beaucoup de pesticides. En fait, elle est la culture au Québec qui en requiert le plus (Giroux, 2002). Selon les données du MENV [Ministère de l'Environnement], avec un peu moins de 20% des superficies cultivées, le maïs utilisait, en 1995, près de 50% des pesticides agricoles (Baril, 2002b). Étant donné la concentration géographique des cultures, le quart du territoire agricole du Québec reçoit près de 90% des pesticides qui sont employés en agriculture au Québec (Debailleul, 1998) (2003 : 9-10).

Ainsi, outre l'impact considérable qu'a eu la multiplication des monocultures, diminuant la diversité des écosystèmes, et du même coup, celui des espèces et des gènes,

cette stratégie de production s'est accompagnée d'un apport considérable de pesticides chimiques (herbicides, insecticides et fongicides). Leur utilisation, popularisée au courant des années 70 durant la Révolution verte, et dont on commence à peine à mesurer l'ampleur des dégâts des points de vue environnemental, sociosanitaire, voire zoosanitaire, est aujourd'hui fortement critiquée (Vandelac et Bacon, 1999; Nicolino et Veillerette, 2007).

Une partie de l'explication de l'augmentation de l'utilisation des pesticides peut être attribuée aux pratiques monoculturales, lesquelles rendent les cultures plus vulnérables aux insectes nuisibles et aux maladies végétales, lorsque plantées continuellement et sur de grandes superficies (Horrigan *et al.*, 2002 : 448). Il demeure que les grands volumes utilisés reflètent toutefois la nature imprécise de l'application : «It has been estimated that only 0,1% of applied pesticides reach the target pests, leaving the bulk of the pesticides (99.9%) to impact environment.» (Pimentel *et al.*, 1991 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 446).

Il est aujourd'hui reconnu que l'utilisation massive de produits chimiques en agriculture a entraîné la résistance des plantes adventices aux herbicides, la résistance des insectes aux insecticides et la pollution des eaux de surface ou souterraines (Berlan, 2001, Laurin, 2007). En effet, ce recours massif aux pesticides fait en sorte que plusieurs espèces cibles, que ce soit les insectes ou les plantes, développent une résistance aux agents chimiques utilisés contre eux. C'est ainsi que la dépendance de l'agriculture envers les produits chimiques synthétiques a largement contribué à réduire la biodiversité à travers le monde. «La diminution des organismes bénéfiques (prédateurs et parasites) en nombre et en diversité ainsi qu'une augmentation de la résistance à ces produits pour les organismes nuisibles visés a engendré une utilisation croissante de pesticides» ce qui, selon Laurin (2007), résulte en l'accroissement des impacts environnementaux entraînant les producteurs «dans un engrenage duquel il est par la suite difficile de s'extirper». Les pesticides affligent aussi les abeilles sauvages, insectes pollinisateurs, et d'autres espèces bénéfiques qui sont en fait des victimes non ciblées (Horrigan *et al.*, 2002 : 448). Selon un article du New York Times, les apiculteurs de 24 états américains auraient constaté un déclin de 30 à 70% du nombre d'abeilles, menaçant la production de miel et surtout la pollinisation des plantes, qui constituent le tiers de notre alimentation. Bien que ce ne soit pas les pesticides qui soient ici

directement pointés du doigt, les pertes encourues, aux États-Unis seulement, sont estimées à 14 milliards de dollars américains (Barrionuevo, 2007). Aussi, la présence de pesticides en suspension dans l'air et leur ruissellement une fois appliqué sur les terres peuvent dériver jusqu'à polluer les eaux de surface et souterraine. Une étude effectuée entre juillet et septembre 1992 et 1993 dans la vallée du Fleuve Saint-Laurent révélait à cet effet que la présence de pesticides aurait entraîné le développement de diverses anomalies chez les amphibiens (membres inférieurs supplémentaires, fusionnés, atrophiés) (Ouellet *et al.*, 1997). D'autres recherches rapportent quant à elles que la présence de pesticides dans l'environnement aurait compromis la fonction immunitaire de dauphins, de phoques et de baleines (Repetto et Baliga, 1996 cité dans Horrigan *et al.*, 2002 : 446-447).

2.4.5 Pesticides et santé humaine

Sur le plan des impacts sur la santé humaine, certains pesticides peuvent affecter les systèmes respiratoire, nerveux et immunitaire, provoquer des affections dermatologiques, perturber le système hormonal, les fonctions reproductives et provoquer le développement de cancers (Vandelac et Bacon, 1999; Horrigan *et al.*, 2002 : 445; Coalition Eau Secours!, 2003; Kamel et Hoppin, 2004 : 950; Laurin, 2006 : 30; voir Appendice E). Bien que les impacts sur la santé humaine de la présence de pesticides dans l'environnement sont de plus en plus connus, selon Kamel et Hoppin (2004), certaines difficultés perdurent :

Individuals are frequently exposed to many different pesticides or mixtures of pesticides, either simultaneously or serially. These exposures are often highly correlated, particularly within functional or chemical groups, making it difficult to identify effects of particular agents (2004 : 950).

Toutefois, nous savons que l'exposition peut provenir des résidus dans la nourriture, soit sur ou dans les fruits et les légumes, ou dans les tissus de poissons ou d'animaux que nous mangeons, soit à travers de l'eau contaminée et l'air inspiré parce que les pesticides dérivent des terres ou des pelouses où ils sont épanchés. Ces résidus de certains pesticides se comportent comme des polluants organiques persistants (POP). Leur bioamplification à travers la chaîne alimentaire et notamment dans les gras animaux, fait en sorte qu'une

alimentation moins basée sur des aliments de source végétale que sur des aliments d'origine animal (viande, lait, fromage, œufs), augmente le niveau d'exposition aux pesticides qui se bioaccumulent, à leur tour, dans les tissus graisseux humains (Vandelac et Bacon 1999, Séralini, 2001).

Les grandes monocultures d'organismes génétiquement modifiés (OGM) ont également stimulé le recours aux herbicides. Or, Séralini (2001) rapporte plusieurs travaux ayant observé en laboratoire des effets sur la santé de deux formulations commerciales d'herbicides couramment utilisés. Le Roundup®, à base de glyphosate et d'adjuvants, entraîne chez les mammifères des problèmes de fertilité (Yousef *et al.*, 1995, 1996), de génotoxicité, de mutagénicité (Kale *et al.*, 1995; Bolognesi *et al.*, 1997; Clements *et al.*, 1997), de formation d'adduits provoquant des perturbations encore inconnues à l'ADN (Peluso *et al.*, 1998) dont les recherches sont insuffisantes pour prédire les effets (Neskovic *et al.*, 1996). En 2007, une autre recherche effectuée par l'équipe de Séralini (Benachour *et al.*, 2007) venait corroborer les résultats précédents révélant que l'exposition à certaines variétés de Roundup® pouvait affecter la reproduction humaine et le développement fœtal. Un autre herbicide souvent associé aux OGM, le glufosinate d'ammonium, est quant à lui toxique pour les cellules neuroépithéliales d'embryons de mammifères (Watanabe, 1997) perturbant le fonctionnement du cerveau après la naissance (Fujii, 1997).

Associée à la présence de résidus de pesticides, une alimentation très carnée se caractérise par l'ingestion de quantités excessives de gras, de cholestérol, de calories et de protéines, et par de faibles quantités de fibres et d'hydrates de carbone complexes, ce qui peut être à l'origine de plusieurs maladies chroniques comme les maladies cardiaques et le diabète de type II et provoquer des cancers du côlon, du poumon et de la prostate (Horrigan *et al.*, 2002). En outre, comme le soulignent Vandelac (2000), la présence de polluants persistants aux effets de perturbation endocrinienne, stockés dans les gras animaux, sont associés à plusieurs cancers hormonaux dépendants (prostate, testicules, seins, etc.).

Comme il a été possible de le constater, la production porcine et l'agriculture intensives sont considérées non durables puisqu'elles consomment abusivement de grandes quantités d'eau et d'énergie fossile et exploitent les terres arables de manière non durable contribuant ainsi à la dégradation de l'environnement par la pollution de l'air et de l'eau, la dégradation du sol, la diminution de la biodiversité des organismes naturels et domestiqués et la mort d'organismes aquatiques.

Comprendre et démontrer la complexité des impacts en cascades sur la biodiversité et la santé environnementale et sociale des systèmes de production alimentaire intensive représente une tâche, encore aujourd'hui, laborieuse et plusieurs questions demeurent sans réponse en raison du manque de recherches dans le domaine. Cependant, comme il a été possible de le constater, certains effets sont irréfutables. Quant au bien-être et à la santé des animaux d'élevage, en l'occurrence des porcs québécois, affectés par ces pratiques d'élevage, l'examen attentif de ces impacts est encore plus essentiel si jamais les pouvoirs publics autorisaient la production de porc transgénique.

2.5 IMPACTS ZOOSANITAIRES DE LA PRODUCTION PORCINE INTENSIVE

Outre les impacts sur la biodiversité des animaux à l'état sauvage, la production porcine intensive et ceux de l'agriculture intensive peuvent aussi affecter la biodiversité des cheptels porcins. En effet, la «sixième vague d'extinction des espèces depuis l'apparition de la vie sur terre» se déroulant actuellement, «[l']extinction des ressources vivantes frappe tout aussi durement le capital biologique constitué au cours des siècles par les humains pour leur alimentation». (Francoeur, 2005) Selon la FAO, 300 des 6000 races d'animaux d'élevage (5%) ont disparu alors qu'en Europe, c'est la moitié des races d'élevage connues au 19^e siècle qui désormais n'existent plus (*ibid.*). L'OCDE (2003) affirme quant à elle que

Les informations dont on dispose sur l'érosion génétique ou la disparition d'espèces sont incomplètes, mais, dans la décennie écoulée, les pertes ou les risques de pertes d'espèces porcines d'élevage ont été notables dans certains pays. Au total, 650 de ces espèces ont été répertoriées, dont 150 frappées d'extinction au cours des 100 dernières années (Scherf, 2000). Parmi les races existantes, environ un tiers est menacé de disparition et, pour 20% d'entre elles, on ne connaît pas le risque

d'extinction. L'érosion génétique des espèces porcines sauvages n'est pas un sujet parfaitement maîtrisé (2003 : 44).

Gauthier (1999) affirme qu'«un des atouts qui a fait la réputation mondiale du porc québécois et canadien, c'est, entre autres, le choix qu'ont fait les éleveurs du croisement d'une truie hybride (Landrace X Yorkshire) et d'un mâle terminal de race Duroc». À ce sujet, des contrôles rigoureux devraient être requis pour assurer le maintien de la diversité biologique et l'intégrité génétique des espèces d'élevage. Des lignées germinales non altérées pourront être considérées comme une banque de gènes inestimable dans l'éventualité où une nouvelle maladie infectieuse ou une défectuosité génétique serait introduites par inadvertance dans les sous populations modifiées ayant pour conséquences l'émergence d'altérations génétiques (Kochhar *et al.*, 2005 : 120).

Jusqu'à maintenant, on ne s'est pas penché adéquatement sur la question de la diversité génétique des porcs d'élevage québécois. Une chose est sûre, «[l]es plans de sélection doivent être orientés en fonction de ces objectifs» : «les caractéristiques des coupes, comme leur poids, mais aussi la surface désirée pour l'œil de la longe, son persillage, ou encore la couleur, la fermeté du gras et l'épaisseur du flanc.» (Gauthier, 1999) La diversité génétique des porcs servant entre autres à «faire apparaître des races moins sensibles aux maladies et plus robustes» (OCDE, 2003 : 43), le recours à ces seuls paramètres dans le choix des individus à reproduire semble négliger l'importance primordiale du maintien d'une riche biodiversité, au sein des cheptels québécois, basée sur une riche variabilité génétique et non sur des caractéristiques physiques dictées par des exigences commerciales repoussant toujours plus les limites physiologiques des animaux.

D'ores et déjà, plusieurs impacts zoosanitaires découlant de problèmes d'origine génétique ont été observés dans les cheptels québécois. Par exemple, une des maladies génétiques porcines était due à la présence du gène halothane, baptisé ainsi parce que sa présence à l'état homozygote³⁷ provoquait la mort lors d'anesthésie au gaz halothane. Cette maladie génétique, bien qu'éliminée des cheptels québécois (Dion, 2002) grâce à des tests de

³⁷ Individu ayant le même allèle aux locus correspondants dans les chromosomes homologues.

dépistage génétique, requiert toujours un suivi attentif de la part des éleveurs et des sélectionneurs. De la même façon, des chercheurs spécialisés en génétique moléculaire chercheraient à développer d'autres tests de dépistage pour endiguer d'autres problèmes de santé, comme la stéatose³⁸ ou causé par la présence de gènes indésirables comme le gène RN (viande acide) ou le gène de l'obésité (Gauthier, 1999).

Concernant l'état de santé général des porcs des cheptels québécois, il appert qu'il n'existe pas d'informations précises quant à l'évolution des maladies. Alors que certaines sont contrôlées ou éradiquées, d'autres émergent sporadiquement, tel le syndrome reproducteur et respiratoire porcin (SRRP) (BAPE, 2003b : 96), ou sont carrément un fléau, tel le SDPS. «Par ailleurs, les élevages ne sont pas à l'abri des nouvelles maladies en émergence, résultant de l'apparition de nouveaux agents infectieux (MEMO261, p. 3 et 5).» (*ibid.*)³⁹

En 1996, le taux de mortalité des cheptels porcins québécois s'élevait à 3,26 % et était, à l'époque, attribuable à la maladie, aux accidents ou aux conflits entre congénères (PROD6 : 137 cité dans BAPE, 2003b : 100). Juste avant l'épidémie de la maladie du SDPS qui a commencé en 2005, le taux de mortalité était rendu à 4%, mais aurait nettement augmenté depuis que des centaines de milliers de bêtes ont été décimées par la maladie. (Turcotte, 2006 : B1).

Les agents infectieux responsables des maladies porcines ont la capacité de se transmettre d'un animal à l'autre par contact direct ou par l'intermédiaire de vecteurs tels que l'air, les matières fécales, l'urine, la semence, les aliments, les camions, le matériel et l'équipement, de même que par les autres animaux, les oiseaux, les insectes et les humains (Boutin, 2001, p. 59) (BAPE, 2003b : 96).

Lorsque, dans une région, les élevages sont nombreux, de taille importante et rapprochés, les risques de transmission de microbes par l'air sont plus élevés. Ainsi, dans les régions où la densité porcine est importante, l'occurrence des maladies est à la hausse. Le CDPQ indique que, dans ces régions, même si les élevages ont été peuplés avec des animaux assainis, " il n'y a malheureusement pas beaucoup de

³⁸ Infiltration anormale de gras dans les muscles du jambon.

³⁹ Pneumonie enzootique, maladie de Glässer, entéropathie proliférative, virus influenza H2N3 (aux États-Unis), virus Nipah (en Malaisie) (MEMO261 : 17 cité dans BAPE, 2003b : 96).

choses à faire pour se prémunir efficacement de ce danger " (SANTÉ 4, p. 7) (BAPE, 2003b : 97).

Sommairement, les impacts zoosanitaires de la production porcine intensive peuvent donc provenir de la sélection génétique, mais aussi des mauvaises conditions d'élevage et des traitements vétérinaires (CIWF, 2002, 2006; BAPE, 2003b; Arey et Brooke, 2006; voir Appendice F). Ni le Canada ni le Québec n'ont de loi régissant spécifiquement les conditions d'élevage des animaux de fermes (PROD38 : 3 et PROD52 : 105 cités dans BAPE, 2003b : 89). On se réfère habituellement au vieux rapport Brambell (Brambell Committee, 1965) pour définir le bien-être des animaux. Englobée sous «cinq libertés», une situation de bien-être doit leur permettre d'être

- libres de la soif, de la faim et de la malnutrition ;
- libres de l'inconfort et avoir un logement approprié et confortable ;
- libres de toute douleur, blessure et maladie ;
- libres de la peur et de toute autre souffrance mentale ;
- libres d'exprimer les comportements normaux et naturels de leur espèce dans un environnement favorisant cette expression (BAPE, 2003b : 88).

Devant l'apparition de maladies épidémiques comme le SDPS, certains chercheurs ont été poussés à développer de nouvelles voies de production plus respectueuses du bien-être des animaux. Le Dr. François Madec, premier à découvrir le circovirus de type 2 en 1996, a démontré qu'il était possible de contrer la maladie par la mise en place d'une vingtaine de mesures basées sur la prévention, le confort et la diminution des mélanges entre les portées (La semaine verte, 2006b). Bien qu'au Québec un vaccin ait été développé pour tenter de résoudre ce problème, de nouvelles stratégies d'élevage devront sans doute être mises en place afin de prévenir voire de guérir de nouvelles affections potentielles découlant des stratégies d'élevage intensives.

Quant aux impacts sur la santé animale de la consommation des OGM, rares sont les études poussées qui permettent de trancher la question de l'innocuité, mais certaines d'entre elles sont pourtant révélatrices d'effets néfastes non négligeables (voir chapitre V). On ne connaît pas la quantité d'OGM consommée par les animaux et aucune donnée à cet effet n'est actuellement répertoriée. Le BAPE (2003b) a tout de même avancé que

Dans sa ration quotidienne, le porc consomme en moyenne 70 % de maïs, 15 % à 20 % de soja et 5 % de canola (Gauthier, 2000). La quantité réelle d'OGM consommés par les porcs n'est pas connue. Toutefois, la proportion de cultures de céréales génétiquement modifiées établie précédemment suggère la quantité d'OGM dans la ration des porcs (2003b : 83).

Ainsi, si en 2007, 52% des superficies totales étaientensemencées en maïs transgénique, 48% en soja transgénique et 85% en canola transgénique (Québec, s.d.), la ration alimentaire, que les porcs québécois commeraient quotidiennement, serait constituée à 36,4% de maïs transgénique, entre 7,2 et 9,6% de soja transgénique et 4,25 de canola transgénique.

Les impacts de l'élevage intensif sur le bien-être et la santé des porcs doivent être considérés, tout comme les impacts environnementaux et sociosanitaires, dans l'optique où de nouvelles voies de solution seront proposées telles que celles offertes par la transgénèse animale. Les problèmes environnementaux découlant de la production porcine intensive, existants à plusieurs niveaux, seules les solutions considérant l'ensemble des facteurs d'impacts, qui sont en interrelation, peuvent être garantes d'un développement harmonieux à long terme de la production animale.

Maintenant que nous avons brossé un portrait sommaire de la prospective en transgénèse animale et que nous avons dégagé les principaux enjeux de la production porcine intensive au Québec, voyons comment le problème se pose en regard du porc transgénique hypophosphorique.

CHAPITRE III

LE PORC TRANSGENIQUE HYPOPHOSPHORIQUE, UNE SOLUTION AU PROBLEME DE PHOSPHORE DES LISIERS DE LA PRODUCTION PORCINE INTENSIVE ?

Les nombreux problèmes environnementaux résultants de l'intensification et de la concentration de la production porcine ont poussé certains chercheurs à développer un porc transgénique afin d'en assurer la durabilité. C'est en intervenant strictement sur la diminution de l'excrétion du phosphore, par le biais de la transgénèse, que nous est aujourd'hui proposée l'invention.

Nous exposerons d'abord les raisons invoquées par les promoteurs l'Enviropig^{MD} pour le diffuser en agriculture, ainsi que les principales caractéristiques de ce porc transgénique hypophosphorique. Nous en profiterons pour soulever les principales questions que pourrait soulever l'adoption éventuelle d'un tel porc dans les pratiques d'élevage intensives caractéristiques du Québec tant pour l'environnement et la santé humaine que pour la santé animale.

3.1 LE PHOSPHORE AU BANC DES ACCUSÉS

Comme nous l'avons vu, la pollution porcine engendre de multiples impacts environnementaux, sociosanitaires et zoonosaires. La nature essentiellement techniciste et morcelée des approches utilisées, trop souvent réduites à quelques paramètres, n'intervient guère sur les causes du problème, mais contribue plutôt dans les faits à atténuer, voire à masquer le problème comme en fait foi l'ajout de toitures sur les structures d'entreposage de lisier (BAPE, 2003a : 173). D'autres mesures d'atténuation des impacts, souvent adéquates et fonctionnelles, sont peu ou mal appliquées. Par exemple, seulement environ 4% des superficies cultivées par l'industrie porcine comportaient des mesures de protection des cours d'eau dont les principales stratégies d'atténuation des impacts environnementaux étaient basées sur des sorties de drains enrochées et la présence de bandes riveraines (PROD73 : 61 cité dans BAPE, 2003b : 195).

Étant donné que la pollution de l'eau est fortement affectée par le rejet massif de lisier riche en nutriments entraînant notamment l'eutrophisation des cours d'eau, la modification de l'alimentation est utilisée depuis des années pour contrôler les rejets des principaux nutriments dont plusieurs visent à abaisser les quantités de phosphore excrétées par l'animal⁴⁰. Mais paradoxalement, l'intensification des élevages a conduit à la fois à enrichir la composition en phosphore de la nourriture et donc des excréments et à la fois à les transformer en lisiers plutôt qu'en fumiers beaucoup moins polluants.

À l'origine, c'est dans une perspective essentiellement économique à court terme qu'on a cherché à augmenter la rapidité de croissance des porcs, en modifiant leur alimentation, enrichie en graines⁴¹, puis en phosphore inorganique, souvent en excès (NRC, 1998; Forsberg, 2003)⁴². Les importants rejets de phosphore rattachés au système porcin sont dus au fait que le porc est un animal monogastrique et ne peut donc digérer le phytate⁴³, une molécule de phosphore lié à un minéral, qui compte pour 60 à 75% du phosphore contenu dans les riches graines céréalières et oléagineuses et les sous-produits formant sa diète (NRC, 1998). Ces surplus de phosphore, contenus dans leur alimentation, occasionnent des rejets de phosphore beaucoup plus importants que pour des porcs nourris traditionnellement. Ainsi, comme nous l'avons déjà souligné, l'épandage massif de lisier riche en phosphore, servant de fertilisant organique aux cultures, tend à dépasser la capacité de support des écosystèmes impliqués. Ceci contribue alors à l'eutrophisation de divers plans d'eau qui, en retour, provoque la prolifération des cyanobactéries, toxiques pour les animaux et l'humain ce qui réduit la quantité d'oxygène, perturbe les réseaux alimentaires, entraîne la mort des

⁴⁰ Le porc ne retient que 30% de l'azote ingéré du fait qu'il n'utilise que les acides aminés composants les protéines brutes alimentaires. 53,9% des fermes porcines du Québec remplace donc ces protéines brutes par des acides aminés de synthèse, ce qui permettrait de diminuer environ 8% de l'azote excrété (FULI45 : 43; GENE21 : 1 cités dans BAPE, 2003b : 81)

⁴¹ La ration de porc étant composée en moyenne de 70% de maïs, de 15 à 20% de soya et de 5% de canola (Gauthier, 2000 cité dans BAPE, 2003b : 83), la biodisponibilité du phosphore est respectivement de 14, 23-31 et 21% pour ces trois composantes principales de la diète porcine (NRC, 1998 ; voir Appendice G).

⁴² La FPPQ (2002b : 5) affirme que «le phosphore contenu dans les principaux ingrédients d'origine végétale n'est disponible qu'entre 14 et 50%, en comparaison avec une source minérale comme le phosphate monocalcique».

⁴³ Myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis dihydrogène phosphate (IP6).

organismes aquatiques et augmente la production de gaz à effet de serre (Golovan *et al.*, 2001a; MENV, 2003).

Différentes stratégies ont donc été développées pour réduire ou éliminer l'ajout de phosphore inorganique dans l'alimentation des porcs, destinées à maximiser leur taux de croissance. Certaines de ces stratégies interviennent sur le métabolisme du phosphore déjà présent dans les composantes végétales dans l'alimentation, mais qui est piégé sous forme de phytate. C'est grâce à l'enzyme phytase⁴⁴, d'origine bactérienne ou fongique, que la libération du phosphore de la molécule de phytate est possible, transformant alors la forme du phosphore, préalablement indigeste, en phosphore assimilable pour l'animal. Lorsque de la phytase est manuellement ajoutée à la diète, «il est entendu d'accorder une réduction moyenne de 25 à 35% de rejets en phosphore total des porcs, en fonction des bases de formulations utilisées» (Boutin, 2002) qui sont d'environ 500 à 1500 U⁴⁵ par kilogramme de nourriture selon Golovan et ses collègues (2001a). Cette stratégie développée depuis plusieurs années, est maintenant très répandue et utilisée par 90% des producteurs québécois (Foulds, 2005), sans toutefois que soit enrayé le problème, les surplus de phosphore étant bien sûr aussi liés aux importants volumes de lisier générés.

Les créateurs de l'Enviropig^{MD} considèrent toutefois cette approche contraignante parce qu'elle est coûteuse⁴⁶ et l'enzyme est sujette à une inactivation partielle ou complète durant sa préparation ou durant l'entreposage de la nourriture (*Guelph Transgenic Pig Research Program*). Selon eux, doter les porcs de la capacité génétique de produire leur propre phytase pourrait fournir une alternative stable, à faible coût et facile à gérer pour

⁴⁴ «La phytase permettrait aussi de réduire les rejets d'azote d'environ 2 % et améliorerait le taux de conversion alimentaire (GENE21, p. 1 et 2). De plus, elle permettrait de diminuer la quantité de phosphore minéral à ajouter à la moulée pour combler les besoins de l'animal (M. Robert Fillion, TRAN3, p. 28).» (BAPE, 2003b : 81)

⁴⁵ Le U est une unité internationale qui signifie unité enzymatique. Une unité enzymatique est la quantité d'enzyme nécessaire pour causer une réaction pour métaboliser 1 µmol de substrat par minute sous des conditions spécifiques.

⁴⁶ «L'achat de la phytase représente pour le producteur un fardeau financier d'autant plus lourd que le coût de cet achat n'est pas considéré dans les coûts de la production du porc. En effet, les coûts et les bénéfices environnementaux ne sont, pour l'instant, jamais intégrés dans le calcul du coût de production du porc. Le salaire du producteur est pourtant fonction de ce calcul. De sorte que le producteur ne récupérera jamais les coûts d'achat de la phytase.» (Sénéchal, 2002 : 6)

réduire le contenu en phosphore du fumier en plus d'éliminer l'ajout de phosphore inorganique ou de phytase à l'alimentation. C'est en invoquant de telles raisons que des porcs transgéniques capables de produire de la phytase dans leur salive ont été développés par Golovan *et al.* (2001a).

3.2 ENVIROPIG^{MD} OU LE PORC TRANSGÉNIQUE HYPOPHOSPHORIQUE

Trente-trois porcs transgéniques ont été produits en introduisant par microinjection, dans le pronucléus mâle d'embryons, des constructions génétiques contenant la séquence du promoteur régulant l'expression de protéines dans les glandes parotides (*parotid secretory protein promoter*) liée au gène de la phytase de la bactérie *Escherichia coli* (*appA*). Treize différentes lignées de porcs transgéniques ont ensuite été produites à partir de 13 animaux transgéniques fondateurs. Une lignée de porcs transgénique a été identifiée comme celle qui détenait la plus forte activité enzymatique de la phytase présente dans la salive, soit entre 341 U/ ml et 10 077 U/ ml avec une médiane d'environ 2000 à 3000 U/ ml (Golovan *et al.*, 2001a : 741). Par kilogramme de nourriture ingérée, ce serait entre 100 000 et 200 000 U d'enzyme phytase qui serait produite par l'Enviropig^{MD} pour se retrouver dans son tractus digestif (*ibid.*; *Guelph Transgenic Pig Research Program*). Rappelons que les bases de formulation utilisées prévoient 500 à 1500 U par kilogramme de nourriture (Golovan *et al.*, 2001a), faisant en sorte que l'Enviropig^{MD} produit environ 150 fois plus de phytase par kilogramme de nourriture (si on compare la moyenne de concentration enzymatique produite par l'Enviropig^{MD} et celle que l'on ajoute manuellement) que la concentration normalement utilisé en élevage conventionnel. Parmi les porcs transgéniques, trois lignées arboraient une activité enzymatique suffisante pour diminuer le contenu en phosphore des matières fécales de 56 à 75 % comparativement à des porcs non transgéniques nourris avec la même diète (*Ibid.*).

Sous un angle différent, les concepteurs affirment que leurs porcs transgéniques utiliseraient 40% plus efficacement le phosphore alimentaire qu'un porc non transgénique auquel on aurait ajouté manuellement la phytase à sa ration alimentaire (Sénéchal, 2002 : 6). Ce gain d'efficacité serait lié au fait que le porc produit continuellement l'enzyme dans ses

glandes salivaires, mais surtout, c'est la quantité de phytase produite par le porc, entre 100 000 et 200 000 U de phytase par kilogramme de nourriture (Golovan *et al.*, 2001a, b), qui serait responsable de cette amélioration (Sénéchal, 2002 : 6).

Cependant, cette activité enzymatique varie énormément selon la position du transgène, les individus dans une même portée et l'âge des individus. Cette disparité, affirment Golovan *et al.* (2001a : 744), serait probablement causée par un *silencing* (*random repeat-induced silencing*) et une diminution de l'activité du promoteur.

Physiologiquement, la présence du transgène au sein du génome porcin permet la production de phytase dans les glandes salivaires du porc. Une fois dans son système digestif, la phytase interagit avec les aliments ingérés et libère le phosphore lié à la molécule de phytate qui peut ensuite être absorbé via l'intestin (*voir* Appendice H). Ainsi, au lieu d'ajouter directement la phytase à la diète, on confère à l'animal la capacité de produire lui-même cette enzyme.

Aujourd'hui, plusieurs générations subséquentes (au moins cinq) de ces porcs transgéniques hypophosphoriques ont été créées (Forsberg *et al.*, 2005a) et leurs créateurs participent actuellement au développement des exigences et des directives en matière d'innocuité susceptibles de permettre la commercialisation de leur nouvelle «invention» (D'Amato, 2001; Maus, 2004) dont la marque de commerce est Enviropig^{MD}. Plusieurs instances gouvernementales et autres organisations publiques ont subventionné les recherches⁴⁷. Quant à la licence exclusive de distribution, elle appartient à *Ontario Pork* (Honey, 1999) et le brevet aux inventeurs Cecil W. Forsberg, Serguei Golovan et John P. Phillips (Free patent online, 2006).

Or, cette voie proposée pour atténuer un impact négatif bien particulier de l'ajout de phosphore dans la nourriture des porcs, amplifiée par le traitement des excréments sous

⁴⁷ Ontario Pork; Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; Food Systems Biotechnology Center at the University of Guelph; University of Guelph; MaRS Landing; Advanced Food Materials Network; Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada; Agriculture and Agri-Food Canada (*Guelph Transgenic Pig Research Program*).

forme de lisiers particulièrement polluants, vise à intervenir non pas sur la logique industrielle d'intensification croissante de ces élevages, mais sur les paramètres biologiques des porcs afin d'atténuer les problèmes de phosphore (Vandelac et Beaudoin, 2007). Ces problèmes étant surtout liés au surplus de phosphore contenu dans la nourriture, la création de porc transgénique capable de produire lui-même de la phytase représente-t-elle une voie de solution pour le développement durable de la production porcine intensive et de l'agriculture qui y est liée?

Alors que le développement d'un cadre réglementaire est en cours au sein du gouvernement canadien, annonçant la commercialisation éventuelle d'un porc transgénique, il nous est apparu essentiel, en l'absence manifeste de contre-expertise indépendante, d'examiner dans un premier temps, si un tel porc transgénique est compatible ou non avec une agriculture durable. L'argument environnement est en effet présenté comme une justification de l'introduction d'une telle production animale transgénique (Forsberg *et al.*, 2003; Maus, 2004). Or, comme il a été possible de le constater, la production porcine au Québec entraîne de nombreux impacts sur l'environnement, la société et les animaux au point d'être actuellement non viable, selon le rapport même du BAPE (2003a) qui recommandait entre autres le soutien aux «produits de niche, entre autres les produits biologiques», ce qui par définition exclut les animaux transgéniques.

Face aux multiples impacts de la production porcine sur l'environnement, la proposition transgénique est-elle compatible avec les principes d'une agriculture durable? Les raisons invoquées du recours à la transgénèse ont-elles été examinées et profondément questionnées au préalable et en amont du processus de création? Que savons-nous des risques de la transgénèse animale et de ses impacts éventuels en cas de commercialisation à grande échelle? Sachant que depuis le premier animal transgénique, les techniques se sont à peine améliorées et doivent toujours dépendre d'une insertion au hasard du transgène, est-ce que les transgènes pourraient se transférer à d'autres organismes dans l'environnement? Quels seraient son potentiel de diffusion et ses impacts possibles? L'épandage massif de lisier produit par des porcs transgéniques pourrait-il influencer le transfert du transgène dans l'environnement? Sur le plan des risques pour la santé humaine, quels pourraient être les

effets de l'exposition au porc transgénique ou ceux découlant de la consommation de viande transgénique ? Est-ce que de subtiles modifications du génome des animaux transgéniques pourraient altérer la qualité de la viande? Quel est l'impact de quantités importantes de phytase excrétées, soit 100 000 à 200 000 U par kilogramme de nourriture ingérée, sur la digestion et la santé de l'animal? Sur le plan zoosanitaire, que savons-nous du comportement d'un porc transgénique une fois élevé dans des unités d'élevages industrielles? Est-ce que les modifications génétiques pourraient exacerber d'autres problèmes de nature génétique? Comment l'état de santé des animaux serait-il évalué? Selon les méthodes disponibles, sommes-nous en mesure de mettre en évidence des dysfonctions physiologiques découlant d'altérations génétiques subtiles ou légères? De légères perturbations génétiques non identifiées pourraient-elles se transmettre de génération en génération?

Ce type d'intervention, au cœur même du génome d'animaux destinés à la consommation humaine, soulève donc de nombreuses questions. Une telle pratique pourrait-elle être justifiée? Quels en seraient les risques pour la santé environnementale, humaine et animale? Afin d'évaluer la durabilité d'une telle proposition, il importe de situer nos positions conceptuelles en regard d'une agriculture durable et des différentes conceptions du fonctionnement génétique. Il importe donc de saisir quelques concepts clés et d'utiliser des approches de recherche nous permettant de mettre en lien et en évidence les différents éléments de risques tout au long du cycle de vie des produits.

CHAPITRE IV

CADRE THEORIQUE ET ORIENTATIONS METHODOLOGIQUES

Comme ce mémoire, rappelons-le, tente de mettre en évidence dans quelle mesure l'introduction de porcs transgéniques hypophosphoriques dans les élevages porcins est compatible avec le développement durable, il importe d'abord de clarifier ce cadre conceptuel qu'est le développement durable pour ensuite examiner ceux d'agriculture durable puis de transgénèse animale.

Par ailleurs, pour comprendre ce dossier dans toute son ampleur, il nous semble essentiel que les approches préconisées soient englobantes et capables d'intégrer l'ensemble des niveaux d'analyse et des variables pertinentes ce que permettent, notamment, les approches écosanté et cycle de vie qui serviront ici d'approches privilégiées, sans pour autant prétendre en faire une analyse fine et détaillée aux sens stricts des termes.

4.1 CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE DE CAS

Bien qu'aucun porc transgénique ne soit encore commercialisé dans le cadre de la production porcine intensive, nous proposons de soumettre à l'analyse l'adoption éventuelle d'un porc transgénique hypophosphorique et d'examiner notamment si un tel porc transgénique peut être compatible avec une agriculture durable.

Étant donné que chaque animal transgénique présente un ensemble de circonstances et de potentiels de risques différents (Kocchar et Evans : 2007 : 791), l'étude de cas s'est avérée l'approche de recherche la plus pertinente pour juger adéquatement de la compatibilité de l'Enviropig^{MD} avec une agriculture durable dans le contexte de la production porcine québécoise.

Pour traiter adéquatement des risques présumés de la transgénèse animale, nous devons tenir compte de l'espèce élevée, des conditions d'élevage, de la nature, du type et du

mode de transformation génétique tous des éléments propres à chaque animal d'élevage transgénique.

Bien que les risques représentés par le clonage des porcs transgéniques hypophosphoriques ne soient pas directement évalués dans ce mémoire, il demeure possible qu'une telle question survienne parce que le clonage combiné à la modification génétique représente une meilleure voie de propagation de traits inédits, ou qui n'auraient pu exister préalablement dans les populations animales (Vajta et Gjerris, 2006 : 224). Ainsi, les conclusions tirées devront considérer l'existence de tels risques dans l'application de la transgénèse en agriculture.

Enfin, les animaux transgéniques d'élevage ayant diverses applications en recherches médicales, en production pharmaceutique, en production industrielle ou en élevage (Rutovitz et Mayer, 2002), notre analyse sera limitée aux applications de la transgénèse animale à visées alimentaires dont certains éléments pourront être généralisés.

Nous examinerons également les conceptions de développement durable, d'agriculture durable et du fonctionnement génétique sur lesquelles s'appuiera notre analyse afin d'évaluer dans quelle mesure la transgénèse animale proposée est compatible avec le développement durable de l'agriculture.

4.2 DÉVELOPPEMENT DURABLE

Parmi les nombreuses conceptions du développement durable, retenons la première, énoncée dans la Stratégie mondiale pour la conservation (SMC) selon laquelle «[l]e développement durable doit tenir compte des facteurs sociaux et écologiques aussi bien qu'économiques, de la base des ressources biotiques et non biotiques ainsi que des avantages et des inconvénients à court et à long terme des solutions de rechange» (UICN, WWF, PNUE, 1980). Cette conception du développement durable mettait en évidence l'importance des liens entre les dimensions écologique, économique et sociale, mais tendait à restreindre la portée du concept de développement durable par le privilège accordé à la protection des

ressources (Bonhomme, 2003 : 16) et par l'absence de considération pour les générations futures.

Le concept de développement durable tel que popularisé par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED, 1988 : 51) et publié dans le rapport Brundtland, vise à répondre «aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs». Les deux concepts inhérents à cette notion sont ceux de «besoins» et de «limitations». Ce sont les besoins essentiels dont il est ici question et notamment ceux des plus démunis alors que l'idée des «limitations» est celle que «l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.»

Cette autre définition qui, «s'est plus largement imposée», «met de l'avant une nouvelle éthique face au futur» (Gendron et Revérêt, 2000) dont le rapport Brundtland réitère l'importance en affirmant que «le développement durable présuppose un souci d'équité sociale entre les générations, souci qui doit s'étendre, en toute logique, à l'intérieur d'une même génération.»

Le concept de développement durable est multidimensionnel et vise notamment à lier et à faire tenir ensemble une dimension économique, une dimension sociale et une dimension écologique (BAPE, 2003a : 28). En d'autres mots, il s'agit de réconcilier le développement économique et le respect de la nature dans l'intérêt du public (Bonhomme, 2003 : 11). Ce chevauchement est dynamique parce que les valeurs sociales et la capacité économique changent continuellement (Bormann *et al.*, 1994 cité dans Varva, 1996 : 1419).

Ce concept de développement durable a fait l'objet d'innombrables définitions et commentaires. D'ailleurs, l'engouement et l'appropriation chez les différents groupes sociaux, les ministères, les organisations internationales et les grandes sociétés ne sont pas étrangers au fait que ce concept est demeuré flou, indéfini (Auclair et Vaillancourt, 1992 : 251 cité dans Gendron et Revérêt, 2000 : 112) et malléable (Gendron et Revérêt, 2000 : 115).

Selon les tendances et les priorités des acteurs, l'insistance portera d'ailleurs davantage sur une ou plusieurs dimensions du triptyque (BAPE, 2003a : 28).

Selon Gendron et Revérêt (2000), les différentes interprétations du développement durable pourraient être catégorisées en trois idéaux types : l'acception conservatrice, modérée et progressiste. Étant donné que l'acception conservatrice ne considère aucune contradiction entre la logique économique et la dynamique environnementale et que l'acception modérée ne considère pas les différentes logiques entre les systèmes économiques et environnementaux, l'acception progressiste sera l'interprétation retenue pour le mémoire. Étant la conception du développement durable la plus répandue, l'acception progressiste reconnaît l'existence d'«une dimension sociale autonome et dont l'intersection avec les dimensions écologiques et économiques circonscrit l'aire du développement durable» (Gendron et Revérêt, 2000 : 118). Contrairement aux deux conceptions précédentes, soulignent ces auteurs, celle-ci se concentre sur les «besoins fondamentaux et l'équité et réitère l'importance du milieu naturel comme substrat». Au sein même de cette interprétation, on retrouve des positions idéologiques fort différentes : la durabilité faible et la durabilité forte (*ibid.*).

La durabilité faible assimile l'économie, l'environnement et la société dans une même notion de capital. Elle «suppose le maintien d'un capital constant» intergénérationnel, indépendamment de la composition du capital social, écologique ou économique (Goodland, 1995 cité dans Gendron et Revérêt, 2000 : 119). Ce type d'interprétation, rappellent ces auteurs, n'est pas souhaitable puisque la contradiction entre l'environnement et l'économie est résolue par un mécanisme de substitution et fait donc resurgir les mêmes problèmes que ceux rencontrés avec l'acception conservatrice, soit la non-reconnaissance de la contradiction entre les logiques économiques et les dynamiques environnementales.

Quant à la durabilité forte, elle se fonde, toujours selon Gendron et Révérêt sur la complémentarité du capital manufacturé et le capital naturel et rejette toute substitution entre l'économie et la nature. Ainsi, «la dimension environnementale est posée comme une condition et prend une allure incontournable» (Gendron et Revérêt, 2000 : 119).

La conception du développement durable retenue dans ce mémoire s'appuie sur cette notion de durabilité forte de l'acceptation progressiste. Cette approche nous semble en effet la plus à même de permettre la durabilité des trois dimensions du développement durable.

4.3 AGRICULTURE DURABLE

Suite au rapport Brundtland de 1988, les Agendas 21 locaux, instrument politique visant à traduire à l'échelle locale les conditions pour un développement durable, ont été établis au «Sommet de Rio en 1992 par la mise en place de processus participatifs et multi-sectoriels appropriés.» (Thuillier *et al.*, 2002). Sur le plan agricole, on retrouve dans le document *Mise en œuvre de l'action 21 au Québec*, élaboré par le ministère de l'Environnement et de la Faune de l'époque que

La priorité doit être accordée au maintien et à l'amélioration de la capacité des terres agricoles de subvenir aux besoins de la population. Les principaux éléments d'un développement agricole et rural durable sont la réforme agraire, la participation des populations aux décisions, la diversification des revenus, la conservation des terres et la gestion améliorée des intrants (MEF, 1996 : 32, 40).

Plus encore, le gouvernement québécois affirmait que «le développement agricole durable [devait] s'appuyer, entre autres, sur l'amélioration de la production, la régénération des terres, et l'utilisation rationnelle des ressources phytogénétiques et zoogénétiques.» En ce qui a trait aux biotechnologies, le gouvernement concevait que «[l]es biotechnologies [avaient] des conséquences sur plusieurs aspects des ressources naturelles et [qu'elles pouvaient] entraîner des modifications de nos façons de faire et de gérer les ressources» et que «[l]a nécessité d'assurer une gestion écologiquement saine et sécuritaire des biotechnologies ne [devait] pas être négligée.» (MEF, 1996 : 40)

L'agriculture étant actuellement aux prises avec de nombreux problèmes de nature sociale, économique et environnementale, de plus en plus de pays sont et seront confrontés à composer avec une agriculture industrialisée rappelant l'urgence d'adopter des pratiques plus durables tournées vers le respect de l'environnement et des valeurs sociales. La notion

d'agriculture durable est donc un aspect primordial du développement durable qui devrait devenir la base d'un système permettant la résolution des problèmes complexes liés aux impacts négatifs d'une agriculture industrielle intensive actuellement décriée. Comme pour le concept de développement durable, différentes définitions d'agriculture durable existent et couvrent le triptyque environnement-social-économie avec une importance variable accordée à chacun des pôles.

Ainsi le BAPE affirme que

Pour être durable, l'agriculture doit avoir la capacité de coexister avec le milieu naturel en maintenant la productivité, la diversité, la qualité et la capacité de support de ce milieu. Les pratiques doivent respecter l'équilibre entre les besoins de la production et la conservation des ressources naturelles, c'est-à-dire l'eau, l'air, le sol et la biodiversité (2003a : 34).

Pour sa part, l'Ordre des agronomes du Québec (OAQ, 2005 : 2), suite aux États généraux du monde rural de 1990, la définit comme «[u]ne agriculture respectueuse de l'environnement qui produit de façon sécuritaire des aliments sains et nutritifs, tout en maintenant le secteur économiquement viable, concurrentiel et en harmonie avec les industries et les secteurs connexes.»

Bonhomme (2003) rapporte dans son mémoire de maîtrise deux autres définitions d'agriculture durable. Celle de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) qui avance que «[l]e développement durable de l'agriculture doit préserver la terre, l'eau et les ressources végétales et animales, ne pas dégrader l'environnement, être techniquement approprié, économiquement viable et socialement acceptable». L'autre est celle du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, pour qui :

La politique ministérielle de développement durable constitue l'engagement du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation au développement d'une industrie bio alimentaire déterminée à produire des aliments sains et nutritifs,

compétitifs, respectueux des ressources et de l'environnement et en harmonie avec les gens et les diverses activités du territoire (Bonhomme, 2003).

Toutes ces définitions décrivent les exigences d'une agriculture durable, mais demeurent difficilement opérationnelles pour évaluer dans quelles mesures les pratiques en question sont réellement durables. Horrigan *et al.*, (2002 : 446, 452) décrivent de manière plus détaillée les exigences d'une agriculture durable en exposant les grandes lignes directrices.

Ils estiment que les systèmes d'agriculture durable s'appuient sur des fermes relativement petites et profitables, utilisant peu d'intrants et dont les productions animale et végétale sont intégrées. Elles maintiennent un haut niveau de biodiversité, mettent en œuvre des technologies appropriées en fonction de l'échelle de la production et privilégient les formes d'énergie renouvelables. En fait, ces systèmes de production sont moins dépendants des intrants chimiques et accordent moins d'importance à l'efficacité économique, habituellement d'importants générateurs d'externalités pour la société.

Deuxièmement, un système alimentaire plus soutenable devrait impliquer, selon eux, des liens plus serrés entre les producteurs et les consommateurs. Ces systèmes peuvent par exemple être mis en place grâce à des programmes d'agriculture soutenue par la communauté (ASC). Plus simplement encore, l'existence de coopératives fermières ou simplement de marchés, où les producteurs peuvent directement mettre en vente leurs produits, sont des moyens efficaces de renforcer les liens entre les producteurs et les consommateurs en plus de représenter une économie d'énergie pour le transport à parcourir de la ferme à l'assiette.

Troisièmement, toujours selon ces auteurs, l'agriculture durable encourage la mitigation ou l'élimination des dommages environnementaux associés à l'agriculture industrielle. L'agriculture durable reconnaît que les ressources naturelles sont finies, et elle considère les limites de la croissance économique et encourage l'équité dans la répartition des ressources.

Quatrièmement, l'agriculture durable privilégie les intérêts à long terme (e.g., préservation de la couche arable, biodiversité, communautés rurales) plutôt que les intérêts à court terme comme le profit.

Enfin, concluent-ils, l'agriculture durable est spécifique à un lieu. Par exemple, un système d'élevage durable dans un milieu pluvieux donné ne sera pas nécessairement durable dans un climat aride. Ceci n'exclut pas que l'agriculture durable soit dynamique, ce qui signifie qu'elle doit évoluer pour répondre aux changements dans son environnement physique, social ou économique.

L'agriculture durable devrait donc mettre en œuvre une approche holistique pour la résolution de problèmes d'aménagement et donc tenir compte du contexte social et du système agroalimentaire global.

L'examen de la littérature nous a permis d'identifier deux visions de l'agriculture durable en matière d'enjeux sur les ressources naturelles et les productions agricoles : l'une privilégie la disponibilité des ressources et l'autre privilégie le fonctionnement des systèmes biologiques et sociaux qui sera ici appelé l'intégrité fonctionnelle. Voici les fondements de ces deux visions d'agriculture durable.

4.3.1 Disponibilité de la ressource

L'approche selon la disponibilité des ressources stipule qu'une pratique est durable lorsque les ressources nécessaires pour supporter les pratiques sont disponibles ou sont prévues être disponibles (Thompson et Nardone, 1999). Pour ce faire, on a recours à l'identification des taux auxquels les ressources sont consommés en établissant les conditions temporelles de leur consommation : si les ressources n'atteignent pas le point zéro, la pratique est durable (Faeth, 1993 cité dans Thompson et Nardon, 1999 : 112). Ce concept nous semble beaucoup trop simpliste. Pour être durable, il devrait plutôt supposer que l'exploitation de la ressource ne devrait pas pousser, directement ou indirectement, d'autres ressources au point zéro. C'est cette conception de la durabilité de l'agriculture qui a amené

certaines économistes à présumer une certaine élasticité dans la substitution des ressources (Simon, 1980 et Solow, 1993 cités dans Thompson et Nardone, 1999 : 112), mais qui en fait, ne considèrent pas la différence entre les systèmes économiques et environnementaux

Or, cette approche semble peu adaptée pour assurer la viabilité de l'agriculture dans la mesure où, pour des raisons de faisabilité, certains suggèrent de considérer des échelles de temps réduites pour assurer la viabilité en termes de disponibilité de la ressource (Thompson, 1997 : 78). De plus, la mise en place d'une telle approche prend un certain temps faisant en sorte que les changements dans la disponibilité de la ressource et son taux de consommation changent ce qui peut faire échouer, dès le début du processus d'évaluation, les calculs de prévisions à long terme de la disponibilité des ressources (Thompson et Nardone, 1999 : 112). Ainsi, on devrait plutôt considérer que la disponibilité de la ressource peut seulement être adéquate pour les ressources qui peuvent être régénérées (*ibid.* : 113).

En réalité, les cycles de productions animales et végétales sont plus rapides que les cycles de régénération des ressources naturelles (eau pour irrigation, combustibles fossiles, minéraux du sol) (Mariotti, 1997 cité dans Thompson et Nardone, 1999 : 113). De plus, la consommation des produits animaux est prévue augmenter constamment pour une longue période de temps en raison de l'augmentation de la consommation per capita et de la croissance de la population humaine (Matassino *et al.*, 1991 et Alexandratos, 1995 cités dans Thompson et Nardone, 1999 : 113). La quantité de ressources nécessaires pour maintenir les niveaux actuels d'efficacité devront alors augmenter proportionnellement avec l'augmentation de la consommation. Si l'efficacité de production n'est pas accrue, les ressources seront alors détruites ou endommagées.

Enfin, la disponibilité de la ressource devrait aussi être évaluée en termes d'évolution naturelle et de la sélection humaine des espèces animales. En fait, la sélection de seulement quelques races et leur diffusion à travers le monde dans les systèmes de production spécialisés (Nardone et Gibon, 1996 cité dans Thompson et Nardone, 1999 : 113) va à l'encontre de la diversité génétique, condition fondamentale pour une utilisation durable des animaux de ferme dans le futur.

Cette conception de l'agriculture durable est donc quelque peu réductrice parce qu'elle se base sur la disponibilité de la ressource au détriment de toutes les autres composantes du milieu, en l'occurrence, l'environnement sans aucune considération pour la complexité des liens écologiques établis.

4.3.2 Intégrité fonctionnelle

Le concept d'intégrité fonctionnelle a aussi été redéfini par Thompson et Nardon (1999 : 113). La notion d'intégrité fonctionnelle présuppose une prise en compte d'un système possédant des éléments cruciaux reproduits à travers le temps d'une manière ou à un taux dépendant de l'état précédent du système. Les éléments à être reproduits doivent être la fertilité du sol, les cultures, les troupeaux d'animaux domestiques, les populations sauvages, les populations humaines et même les institutions humaines comme la famille ou l'État. Dire que les systèmes d'agriculture ont une intégrité fonctionnelle revient à dire que le système possède des mécanismes rétroactifs qui préviennent la reproduction d'éléments cruciaux qui leur permettent de ne pas s'accroître sans limites ni de disparaître du système (Thompson, 1997; Thompson et Nardone, 1999). Ceux qui définissent la durabilité selon l'intégrité fonctionnelle, mettent l'accent sur les systèmes dynamiques de modèles écologiques complexes et des processus de reproduction sociaux et encadrent la durabilité à la lumière de la vulnérabilité des systèmes aux stress anthropogéniques. L'idée d'intégrité fonctionnelle peut donc être appliquée aux paramètres écologiques de la production croissante de bétail où les taux de stockage, fourrage, plantes non fourragères et la vie sauvage exhibent des relations complexes. Ces éléments d'un système étendu peuvent rester en état d'équilibre pendant une longue période de temps, mais un déséquilibre peut soudainement apparaître comme une conséquence d'un changement critique d'une capacité reproductive de n'importe quel élément (*ibid.* : 113-114).

Thompson et Nardone (1999 : 114) affirment que les paramètres sociaux d'une intégrité fonctionnelle comprennent le besoin de régénération du capital et des pratiques d'élevage efficace et la spécification de ces paramètres varient considérablement selon le contexte socio-économique d'un système de production donné. Dans une économie

industrialisée, la régénération du capital présume une profitabilité alors que la régénération de pratiques d'élevage efficaces présuppose la recherche et l'éducation.

Lorsque la durabilité des systèmes de production industrialisés est conceptualisée seulement en termes de disponibilité de la ressource, aucune question à propos de l'intégrité fonctionnelle des cycles de nutriments n'émerge ou bien, il en émerge des problèmes de pollution qui doivent être abordés par l'ajustement de l'efficacité des processus de production (*ibid.* : 116). Lorsque la disponibilité de la ressource est adoptée comme paradigme implicite de la durabilité, on a alors tendance à reléguer l'intégrité fonctionnelle des systèmes de production en arrière-plan. Bien que quelques individus aient contribué à la compréhension des menaces à l'intégrité fonctionnelle des systèmes d'élevage (Brossier *et al.*, 1993, Pun et Seré, 1993 et Macadam *et al.*, 1995 cités dans Thompson et Nardone, 1999 : 116), les principes philosophiques de la science animale n'encouragent pas l'innovation et l'intégration des méthodologies pour la recherche sur l'intégrité fonctionnelle (Thompson et Nardone, 1999 : 116).

L'interprétation du concept d'agriculture durable selon l'intégrité fonctionnelle peut faire l'objet de deux visions différentes. Certains mettent l'emphasis sur l'intégrité écologique et conceptualisent les pratiques agricoles comme menaçantes pour cette intégrité (Hardin, 1968 cité dans Thompson et Nardone, 1999 : 114). Ces pratiques menacent l'intégrité fonctionnelle lorsqu'elles poussent l'agroécosystème dans un état où les processus reproductifs ne peuvent être rétablis; la résilience du système à son état initial n'est plus possible. D'autres considèrent plutôt que les stratégies de productions font partie du système telles que la régénération du capital et l'adoption de pratiques d'élevages efficaces. Lorsque les dimensions sociales sont incluses dans un tel modèle systémique, il devient évident que les personnes pourront réaliser des actions critiques à condition qu'un réseau complexe d'avantages sociaux et psychologiques soit établi (Stuth *et al.*, 1991 cité dans Thompson et Nardone, 1999 : 114). Ces membres de la communauté doivent être informés, avoir la capacité nécessaire pour réaliser cette activité et aussi, doivent être motivés ou être poussés à développer cette motivation (Thompson et Nardone, 1999 : 114). Cette approche qui vise à

replacer l'humain dans son environnement est justement celle préconisée par l'approche écosanté qui sera décrite plus loin.

Thompson (1997 cité dans Hubert, 2002) formule une distinction entre les approches «disponibilité de la ressource» et «intégrité fonctionnelle». L'approche disponibilité de la ressource met l'accent sur les ressources et les distingue selon qu'elles sont abondantes, renouvelables ou critiques. Cette approche repose donc d'une part sur la substituabilité entre les ressources par rapport à la consommation, et d'autre part, sur l'amélioration des rendements grâce aux progrès technologiques. Toujours selon Thompson, l'approche «intégrité fonctionnelle» privilégie plutôt une approche systémique considérant les activités humaines ou du moins leurs impacts sur l'environnement.

Il est évident que pour assurer un développement durable de la production animale, les critères des deux approches doivent être utilisés selon leur forces et leurs faiblesses même s'il existe une meilleure capacité de recherche selon l'approche de la disponibilité de la ressource (Thompson et Nardone, 1999 : 114). Or, Castle (1996 cité dans Thompson et Nardone, 1999 : 117) affirme que cette approche favorise souvent le *statu quo* en dépit du fait que la qualité de vie soit déjà détériorée par les impacts environnementaux prévalant sous ce *statu quo*. Les approches préconisant l'intégrité fonctionnelle sont quant à elles plus propices à produire un consensus éthique au-delà des intentions et des buts de la production de bétail relativement à des objectifs sociaux plus larges. Le paradigme de l'intégrité fonctionnelle est donc meilleur pour comprendre l'importance de la biodiversité, le problème d'échelle temporelle et spatiale et la relation entre la société et l'écologie.

Mais comment évaluer l'impact qu'aurait la transgénèse animale sur la durabilité des systèmes de production alimentaire? Thompson et Nardone (1999 : 117) affirment à ce propos que les nouvelles voies que nous offrent les biotechnologies, comme le clonage et la transgénèse fournissent un exemple de comment les valeurs amèneront le public à évaluer la durabilité de la production animale. Selon eux, bien que ces technologies créent de nouvelles voies de production animale pouvant bénéficier au bien-être de l'humain comme la production d'organes de remplacement et de biopharmaceutiques, ces types de

développement pourraient transformer les systèmes d'élevage et les objectifs de production de manière fondamentale. Leur impact sur l'intégrité fonctionnelle des systèmes de production animale est complètement inconnu. Si une telle question apparaît dans de futurs travaux de recherches, la science animale doit devenir davantage multidisciplinaire et interdisciplinaire (*ibid.*).

4.4 CONCEPTIONS RÉDUCTIONNISTES DE LA GÉNÉTIQUE

L'avancement des connaissances conduit à des situations et ouvre des possibilités techniques inédites, faces auxquelles l'intuition et le discernement éthiques ne peuvent s'imposer d'emblée et, d'autre part, les impératifs économiques qui influencent l'avancement des connaissances contribuent tout autant à l'extension du savoir qu'à sa fragmentation (Vermersch, 2002 : 1). Les applications technologiques ont ainsi été souvent incapables de prévoir certains problèmes d'ordre écologique, économique et social. Dans l'univers de la transgénèse et plus largement en biologie moléculaire, deux conceptions scientifiques s'affrontent en regard du fonctionnement génétique: une vision réductionniste et une vision plus holistique. Voyons comment ces deux visions se traduisent.

L'approche réductionniste consiste à représenter la réalité à l'étude par un ensemble hiérarchique de systèmes reposant sur des niveaux plus élémentaires qui demeurent objectivables et vérifiables. Selon Vermersch (2002 : 3), le réductionnisme [gouvernerait] aujourd'hui toute démarche scientifique; ce qui [permettrait] [...] d'effectuer les ponts nécessaires entre les diverses disciplines, [...] ce qui lui [vaudrait] d'être un mode de réduction emblématique». Toujours selon cet auteur, la conception réductionniste viserait toujours l'élémentaire, le niveau fondamental, afin de toujours assurer une «maîtrise du réel» pour ensuite intervenir efficacement sur ce même réel.

Selon Séralini, la vision réductionniste de la fonction génétique se fonde sur une idée de la biologie moléculaire ayant émergé dans les années 80 selon laquelle un gène correspond à une protéine et à une fonction (Séralini, 2000 : 80; Séralini, 2004 : 144). Cette vision du fonctionnement génétique est très simplifiée, car «les gènes constituent en fait un véritable

écosystème dans lequel ils coopèrent et interagissent» et dont les effets épigénétiques sont souvent négligés par les biologistes moléculaires (*ibid.*). Notre manque de compréhension de la complexité du fonctionnement génétique et l'existence de plusieurs gènes ayant des impacts sur plusieurs protéines et sur plusieurs fonctions (Lewin, 1999) fait en sorte qu'une telle conception pose problème (H.P., 2004; Pearson, 2006).

Deuxièmement, le réductionnisme de l'évaluation toxicologique, telle que soutenue par des lobbies industriels, scientifiques, politiques et par la réglementation développée dans les années 80, privilégiant l'équivalence en substance, articule et conforte ce réductionnisme (Séralini, 2004 : 146). Faisant ici référence à l'évaluation des effets hormonaux des polluants, des pesticides et des OGM à pesticides sur les mammifères, certains responsables de l'évaluation, de la réglementation et du suivi ont volontairement piétiné sur le seuil d'une analyse toxicologique approfondie afin de ne pas réduire les profits de la commercialisation des OGM. Dans ce cas, cette vision ne permet pas,

par l'analyse des paramètres un par un (un produit chimique après l'autre testés sur des rats), [d']appréhender les effets toxiques multifactoriels à long terme sur le système endocrinien, immunitaire ou les effets sur le cancer par l'accumulation de résidus chimiques dans la chaîne alimentaire (Séralini, 2000 : 82).

Ainsi, nous n'avons pas les outils appropriés pour évaluer les OGM.

Enfin, la conception même des écosystèmes serait également réductionniste et les commissions responsables d'évaluer les impacts des OGM sur les écosystèmes n'ont pas les connaissances suffisantes des écosystèmes, ni les outils pour analyser les interrelations entre les organismes vivants transgéniques et l'écosystème. Cela serait en partie dû au fait que le développement de l'enseignement de l'écologie aurait grandement été supplanté par l'enseignement de la biologie moléculaire (Séralini, 2000 : 83).

4.5 CONCEPTION HOLISTIQUE DE LA GÉNÉTIQUE

Une conception scientifique plus holistique de la génétique considère quant à elle que le fonctionnement des gènes est souvent régulé de manière corrélée, complexe, voire même inattendue, et «que la vie du génome est subtile et fluide, que la place d'un transgène sur un chromosome peut influencer considérablement la variabilité de son expression au cours du développement, ou selon le tissu. C'est l'«effet de position», difficilement prévisible» (Séralini, 2004 : 158). Cette conception considère aussi que la fonction principale d'un gène ou d'un transgène peut ne pas être conservée d'une espèce à l'autre et le rôle qu'on lui destinait peut en cacher un autre tout aussi important (*ibid.* : 158).

La stabilité génétique peut être remise en cause surtout lors de stress importants qui peuvent déclencher la mobilité des transposons (fragments d'ADN naturels qui se déplacent et s'intègrent dans le génome) (*ibid.* : 158). En plus, des phénomènes de *silencing* peuvent venir «éteindre» des gènes introduits artificiellement (*ibid.* : 159).

Cette conception scientifique propose aussi de faire évoluer les modes d'évaluations toxicologiques par une intégration de la complexité. Les méthodes d'évaluation actuelles permettent d'aller vite et sont plus économiques pour les industriels. Par exemple, la rentabilité des OGM de première génération repose sur l'absence de tests prolongés sur des mammifères (en plus du brevetage des organismes vivants et du non-étiquetage) (*ibid.* : 167). Ce mode d'évaluation est incomplet et primitif ce qui contribue à l'éloignement entre l'évolution des connaissances toxicologiques et l'établissement d'une réglementation adéquate (*ibid.* : 164-165).

4.6 APPROCHES DE RECHERCHE

Étant donné que nous nous intéressons à l'évaluation des impacts sur l'écosystème, la santé humaine et la santé animale et que cette évaluation est au confluent des approches écosanté et cycle de vie, celles-ci constitueront autant de points d'appui de notre approche de recherche, marquée par un souci de globalisation, d'intégration et d'interactions.

4.6.1 Approche écosanté

Tout d'abord, l'approche écosanté a été développée dans la foulée des travaux de la Commission mixte internationale (CMI), puis utilisée par plusieurs groupes de recherche à travers le monde et notamment depuis des années par le CINBIOSE de l'UQÀM et ont souvent permis le développement de processus d'amélioration de la santé environnementale et humaine. Lebel (2003), dans le cadre de certains de ses travaux au CINBIOSE, de l'Institut des Sciences de l'environnement (ISE) de l'UQÀM, puis surtout du Centre de recherche pour le développement international (CRDI), a contribué à systématiser et à diffuser l'approche écosanté. Donna Mergler, professeure au CINBIOSE, et son équipe de recherche ont également utilisé l'approche écosanté pour comprendre la contamination par le mercure en Amazonie (CRDI, 2003).

L'approche reconnaît «qu'il y a des liens inextricables entre les humains et leur environnement biophysique, social et économique et que ces liens se répercutent sur la santé des individus» (Lebel, 2003). Celle-ci s'inscrit dans une démarche de développement durable dans la mesure où elle accorde autant d'importance à l'économie, l'environnement et aux besoins sociaux et considère que ces trois dimensions ont tous des impacts significatifs sur la santé des écosystèmes; elle favorise des interventions positives sur l'environnement afin d'améliorer le bien-être et la santé des populations (*ibid.*).

Toujours selon Lebel, jusqu'à présent, nous n'avons qu'une connaissance partielle des liens entre la santé et les composantes hétérogènes des écosystèmes qui sont formées d'interactions dynamiques complexes entre des communautés de plantes, d'êtres humains, d'animaux, de microorganismes et de leur environnement physique où plusieurs de ces composantes jouent un rôle spécifique. Les trois piliers méthodologiques sur lesquels s'appuie l'approche écosanté sont la transdisciplinarité, la participation et l'équité. Vandelac (2006b) rajoute que

Bien qu'attentive aux habitudes de vie des individus, ciblées par la promotion de la santé, l'approche écosanté s'intéresse davantage aux principaux déterminants de la santé (écarts socio-économiques, conditions de travail, soins aux jeunes enfants, etc.),

et à leurs interactions avec l'environnement, tout en privilégiant les interventions, dès l'apparition de signes précoces, voire en amont, aux sources mêmes des problèmes de santé, notamment du côté des orientations économiques et des politiques publiques (Vandelac, 2006b).

Enfin, dans le domaine agricole, Lebel (2003) affirme que l'approche écosanté «ambitionne rien de moins que de créer une synergie entre l'amélioration des pratiques agricoles et de la santé tout en assurant la viabilité des écosystèmes agricoles». L'agroécosystème, tout comme n'importe quel écosystème, comprend des composantes biotiques et abiotiques et leurs interactions. Les écosystèmes agricoles sont «ouverts et dynamiques influencés par les mouvements de main-d'œuvre, l'apport de semences et d'intrants agricoles, l'érosion ainsi que l'invasion saisonnière d'éléments pathogènes».

4.6.2 Approche cycle de vie

L'approche cycle de vie est quant à elle «une approche axée sur toutes les étapes de la «vie» des produits, procédés et services», tels que l'extraction et le traitement des matières premières, la fabrication, le transport et la distribution, l'utilisation et le réemploi, le recyclage et la gestion des déchets (CIRAIG, 2005). Similairement, le PNUE (2004) croit que «[l']approche du cycle de vie couvre les possibilités et les risques liés à un produit ou à une technologie sur toute la chaîne qui va de l'extraction des matières premières à l'élimination du produit en fin de vie utile.» Elle considère que ces étapes ont un impact sur l'environnement et l'économie (Environnement Canada, 1997) et par conséquent, sur la société. Chacune des étapes du cycle de vie consomme de l'énergie et des ressources non renouvelables et génère des impacts globaux, régionaux et locaux (CIRAIG, 2005).

Pour permettre une prise de décision éclairée et l'établissement de stratégies de gestion adéquates des modèles de production et de consommation, il importe que soient considérées toutes les étapes du cycle de vie (CIRAIG, 2005), ce qui rend possible l'intervention en aval et en amont des mesures propres à une installation (Environnement Canada, 1997). Aussi, la pensée «cycle de vie» implique que tous les acteurs, inclus dans la

chaîne complète du cycle de vie d'un produit, assument une responsabilité et aient un rôle à jouer en ce qui a trait aux effets externes engendrés par ces produits (CIRAIG, 2005).

«Appliquée à la conception de produits, aux procédés de production et comme soutien pour la prise de décision en matière de politiques environnementales, la pensée " cycle de vie " s'inscrit donc comme un élément essentiel» permettant la mise en application concrète du concept de développement durable (CIRAIG, 2005).

Sans prétendre faire, en tant que telle, une analyse écosanté ni une analyse du cycle de vie des impacts potentiels et connus de la production de porcs transgéniques hypophosphoriques au Québec, ces approches ont largement contribué à alimenter nos réflexions.

4.7 OBJECTIFS

Ce mémoire a pour objectifs de démontrer si l'introduction en agriculture de porcs transgéniques hypophosphoriques au Québec est compatible avec une agriculture durable sous l'angle du contexte actuel de la production porcine intensive très concentrée, aux impacts environnementaux, sociosanitaires et zosanitaires considérables et sous l'angle des risques connus et potentiels entraînés par la technique de la transgénèse en tant que telle. On entend ici par risque, un acte ou un phénomène qui a le potentiel de causer un dommage (NAS, 2002).

Ainsi, nous tenterons de comprendre quels sont les principaux risques de la transgénèse animale en général, pour l'environnement, la santé humaine et la santé animale dans l'optique où les impacts possibles pourraient menacer la durabilité de l'agriculture. Bien que nous sommes conscients que la sphère économique forme un des trois pôles du développement durable, ce travail d'analyse approfondi du volet économique, qui impliquerait une analyse fine du secteur tant au Québec qu'à l'échelle internationale, dépasserait à la fois le cadre restreint de ce mémoire et à la fois nos compétences et notre formation davantage centrée sur les questions socio-environnementales, deux autres

composantes essentielles du développement durable (certains pistes d'analyse sont toutefois soulevées dans la conclusion de ce mémoire). À travers ces angles d'analyse, nous tenterons donc d'identifier les données disponibles sur l'Enviropig^{MD} à la lumière des risques identifiés. Il importe de mentionner ici que la mesure des types et des niveaux de risques que représentent les OGM pour la santé environnementale, humaine et animale ne trouve actuellement pas consensus au sein de la communauté scientifique (SRC, 2001; CST, 2002; Séralini, 2003).

Suite à l'identification de ces risques, nous ferons un examen critique des dispositifs d'évaluations scientifiques et de politiques publiques afin de vérifier si ces mécanismes sont adéquats et suffisants pour protéger la santé des porcs, des humains et des écosystèmes et de définir le caractère de durabilité d'une telle stratégie en vertu d'une agriculture durable.

4.8 OUTILS MÉTHODOLOGIQUES

Partant d'une vaste et systématique revue de littérature scientifique, nous avons exploré quels pourraient être les principaux risques directs et indirects découlant de la transgénèse animale associée à l'élevage à visées alimentaires, pour la santé animale, humaine et environnementale. Nous avons également cherché à comprendre les risques indirects autres que ceux occasionnés par la technique même de transgène, c'est-à-dire les risques qu'aurait l'implantation de ce porc transgénique dans les pratiques d'élevages porcins québécoises.

Cette revue de littérature, s'est d'abord appuyée sur une première revue exploratoire permettant de cerner l'étendue du sujet et des ressources disponibles afin d'identifier les ouvrages les plus pertinents, ce qui nous a permis d'identifier des mots-clés, anglais et français, qui allaient servir à la recherche documentaire. Ceux-ci couvraient notamment les secteurs de la transgénèse animale et plus particulièrement la transgénèse chez le porc, des applications de la transgénèse à visées alimentaires, de l'évaluation des risques des animaux transgéniques et ceux plus généraux des OGM, de la réglementation et des politiques publiques canadiennes et québécoises (*voir* Appendice I).

Une fois la liste de mots-clés établie, nous avons exploré les principales bases de données d'articles scientifiques et ensuite de publications gouvernementales et enfin de quotidiens, de 1980 à 2007 (avril). Il importe de mentionner que certains ouvrages identifiés dans cette recherche ont parfois conduit vers d'autres articles non ciblés par les paramètres utilisés de la recherche.

Pour le premier travail exploratoire, nous avons utilisé les moteurs de recherche BADADUQ de la bibliothèque de l'Université du Québec à Montréal, couvrant tous les documents disponibles dans les bibliothèques (ou à travers des prêts entre bibliothèques) et BIBLIO BRANCHÉE qui a permis de réaliser une revue de presse.

Nous avons également passé en revue certains journaux spécialisés en agriculture dont ceux publiés par la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ), *Porc Québec*, par le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ) et par Ontario Pork, *Pigs, Pork and Progress*, étant donné que le porc transgénique a été créé dans cette province.

La recherche d'articles scientifiques a été réalisée dans les bases de données de CURRENT CONTENTS, PUBMED, SAGE PUBLICATIONS, SCHOLAR (Google) et SCIENCE DIRECT. Aussi, le site internet du programme de recherche de l'Enviropig^{MD} (*Guelph Transgenic Pig Research Program*), rapportant diverses publications de l'équipe de recherche de l'Université de Guelph, tous les documents disponibles ont été consultés.

Les sites internet de diverses instances gouvernementales provinciales et fédérales ont permis l'identification de publications gouvernementales en lien avec l'étude de cas. Les sites consultés ont été ceux de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), de Santé Canada (SC), d'Environnement Canada (EC), du ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et du ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO). Nous avons aussi consulté le site internet du gouvernement du Québec sur les OGM (<http://www.ogm.gouv.qc.ca/>), les nombreux documents publiés par le Conseil de la science et de la technologie sur les OGM (<http://www.cst.gouv.qc.ca/>) et le rapport complet de la Société Royale du Canada (2001),

Éléments de précaution : recommandations pour la réglementation de la biotechnologie alimentaire au Canada.

Bien que très peu d'ouvrages traitent spécifiquement des risques des animaux transgéniques pour la santé environnementale, humaine ou animale, certains ont été très pertinents et ont grandement contribué à notre analyse. Ce sont les précieux travaux publiés par le Dr. Gilles-Éric Séralini, traitant de manière critique les risques entraînés par les OGM, et ceux du National Academy of Science, qui a notamment publié en 2002 un ouvrage traitant exclusivement des animaux transgéniques, *Animal Biotechnology: Science-Based Concerns*, qui ont souvent servi au fondement de notre propos, mais plus encore qui ont contribué à élever le questionnement au-delà des enjeux techniques de la transgénèse animale.

4.8.1 Indicateurs

Pour évaluer de la compatibilité du porc transgénique hypophosphorique avec une agriculture durable, nous avons procédé à l'identification des risques connus et potentiels pour la santé animale, humaine et l'environnement en fonction du fait que certains éléments cruciaux du milieu doivent être maintenus et reproduits à travers le temps à un taux dépendant de l'état précédent du système. C'est donc la notion d'intégrité fonctionnelle, définie par Thompson et Nardone (1999) qui a été retenue et qui présuppose une prise en compte d'un système possédant ces éléments cruciaux qui doivent préservés dont notamment la fertilité du sol, les cultures, les troupeaux d'animaux domestiques, les populations sauvages, les populations humaines et même les institutions humaines comme la famille ou l'État. Toujours selon eux, «[l]'idée d'intégrité fonctionnelle peut [...] être appliqué aux paramètres écologiques de la production croissante de bétail où les taux de stockage, fourrage, plantes non fourragères et la vie sauvage exhibent des relations complexes». Toutefois, l'impact de la transgénèse et du clonage, sur l'intégrité fonctionnelle des systèmes de production animale est complètement ignoré.

Une fois l'analyse des risques réalisée selon l'approche écosanté en gardant toujours en tête l'influence sur le cycle de vie des produits, nous avons ensuite tenté d'identifier les

principales zones d'ombre en termes d'évaluations scientifiques et de politiques publiques concernant les dispositifs existants ou qu'on prévoit mettre en place. Dans le contexte où le recours à la transgénèse serait strictement appliqué aux élevages intensifs, connaissant des problèmes de surplus de phosphore, nous avons concentré notre analyse sur ce type de production. Étant donné la non-durabilité de ces systèmes de production porcine au Québec (BAPE, 2003a), une quelconque exacerbation des impacts aggraverait la situation de cette non-durabilité de la production.

Alors que ce porc transgénique risque d'être l'un des premiers animaux transgéniques commercialisés et que certains considèrent son application plus acceptable pour le public (Einsiedel, 2005 : 150), nous ferons l'examen de certains de ces risques et analyserons le bien-fondé d'un tel recours qui pourrait être généralisé chez d'autres animaux transgéniques à visées alimentaires.

4.8.2 Hypothèses

À la question de la compatibilité de la transgénèse animale avec une agriculture durable, nous faisons l'hypothèse que le développement technoscientifique poussé par des enjeux économiques du secteur, progresse plus rapidement que les capacités d'analyse rigoureuse du bien fondé et des impacts environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires de l'introduction en agriculture d'animaux transgéniques (Vandelac *et al.*, 2002-2005).

Quant à la question de la compatibilité du porc transgénique hypophosphorique, outre les nombreux impacts liés à la transgénèse même, tant des points de vue environnementaux, sociosanitaires que zoosanitaires, un tel remodelage des porcs, non seulement occulte de nombreuses autres composantes responsables de la pollution porcine, mais risque fort de contribuer, en diminuant les rejets de phosphore par tête de bétail, à justifier l'accroissement de la concentration des élevages et l'ensemble des autres impacts environnementaux, sociosanitaires, zoosanitaires et socio-économiques.

Notre troisième hypothèse est que la transgénèse des porcs participe à une vision réductionniste tant (i) des problèmes associés à ce type d'élevage, selon laquelle ce serait non pas le type d'alimentation et plus globalement les stratégies productivistes de ce secteur agroalimentaire qui poseraient problème, mais la nature même du porc, qu'à (ii) une conception réductionniste du fonctionnement génétique.

CHAPITRE V

RISQUES ENVIRONNEMENTAUX, SOCIOSANITAIRES ET ZOOSANITAIRES DE L'INTRODUCTION DE PORC TRANSGENIQUE EN AGRICULTURE

Dans ce chapitre, nous présentons les risques environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires susceptibles de découler de la transgénèse et de l'éventuelle commercialisation du porc transgénique hypophosphorique, rapportant, pour chacun des types de risques, les données et les études spécifiques à l'Enviropig^{MD}.

5.1 RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

Les risques environnementaux les plus préoccupants sont liés à l'augmentation éventuelle des volumes d'épandage, et donc l'augmentation des cheptels que certains pourraient tenter de légitimer en invoquant la diminution de la teneur en phosphore contenue dans le lisier. Le calcul de la superficie minimale requise pour l'épandage de déjections animales, qui se réfère, sommairement, au dépôt maximum de phosphore total (P_2O_5) (Québec, 2006 : art. 20 al. 1 et 3 du REA, c. Q-2, r. 11.1), constitue actuellement le principal facteur limitant l'épandage du lisier au Québec. À ce sujet, Tremblay (2006), de la *Coalition Eau Secours!*, affirmait en 2006 que «[l]a norme phosphore a même l'effet pervers d'accroître l'impact de ces autres sources de détérioration de l'eau parce qu'elle permet une augmentation de la production de porcs s'il y a réduction du phosphore.» Le *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA) «fonctionne selon une approche ferme par ferme, alors que logiquement, il devrait tenir compte des bassins versants.»

Pourtant, c'est ainsi que, suite à une simulation par ordinateur⁴⁸, (Nutrient Management Program (NMAN)), les promoteurs de l'Enviropig^{MD} affirment que les

⁴⁸ Développée par le ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) (Phillips *et al.*, 2002).

superficies d'épandage pourraient être réduites de 33% avant que l'azote ne soit en excès selon des variables typiques du sud de la province d'Ontario (Forsberg, 2003). Ils ajoutent qu'en modifiant l'alimentation des porcs, en remplaçant les protéines par certains acides aminés, cela pourrait diminuer le contenu en azote dans les déjections de 40 % et la superficie de terre nécessaire pourrait alors être réduite jusqu'à 60% (Larivière, 2001, Forsberg *et al.*, 2003). (D'autres données rapportées par l'équipe indiquent que la réduction de la superficie de terre exigée pour l'épandage pourrait varier entre 38 et 68% (Phillips *et al.*, 2002)).

Bien que la quantité totale d'azote contenue dans le fumier des porcs transgéniques soit la même que celle des porcs conventionnels, néanmoins, selon Yang *et al.*, (2006) ce fumier de porcs transgéniques contiendrait moins d'azote inorganique et cet azote subirait davantage d'immobilisation et de dénitrification ce qui le rendrait moins disponible aux plantes (*ibid.*), ce qui soulève la question des surplus d'azote qui pourraient être générés par des cheptels transgéniques entiers. Autres différences notoires, les excréments de l'Enviropig^{MD} sont plus foncés (Phillips *et al.*, 2002) et le fumier contiendrait davantage de carbone soluble et serait plus acide (6.8) que celui des porcs conventionnels (7.3) (Yang *et al.*, 2006).

Certaines études quant aux impacts environnementaux seraient actuellement menées par des membres de l'équipe de concepteurs de l'Enviropig^{MD}. On procéderait notamment à la caractérisation et l'évaluation des impacts agronomiques et environnementaux des nutriments de déjections provenant du porc transgénique hypophosphorique ainsi qu'à l'évaluation de la sécurité pour l'environnement du fumier et du matériel composté parce que les carcasses des animaux morts sont soit incinérées, soit compostées sur les lieux de recherche (Phillips *et al.*, 2002; University of Guelph, 2004; Zhang, 2006b). D'autres recherches seraient en cours afin d'analyser et de comparer les constituants aromatiques volatiles des matières organiques générées (Phillips *et al.*, 2002). Ainsi, des essais viseraient à déterminer si le fumier de l'Enviropig^{MD} génère plus ou moins d'odeur.

Outre les impacts possibles de l'intensification des élevages, un autre risque environnemental, lié à la production d'un porc transgénique hypophosphorique, concerne le

transfert génétique horizontal (TGH) du transgène, c'est-à-dire entre individus non affiliés (procaryotes, eucaryotes) et/ou entre espèces parfois de même génération (Séralini, 2003; Anderson, 2005). Seulement, les risques environnementaux découlant du TGH d'un transgène d'animal transgénique sont actuellement imprévisibles. Le phénomène étant difficilement observable et mesurable, il ne peut toutefois pas être écarté. En effet, le transgène retrouvé dans le génome d'animaux transgéniques pourrait-il se transmettre aux bactéries composant sa flore intestinale puis à des microorganismes dans l'environnement? Outre l'absence de consensus sur la définition même d'une espèce bactérienne, d'un point de vue empirique, c'est « [l]a variation de la structure de la microflore des parcelles de différents terrains[, très peu connue, qui] peut éclipser la variation attribuable à la présence/l'absence de produits de transgène dans la rhizosphère.» (SRC, 2001)

Ainsi, seules des généralisations sont possibles quant à l'amplitude de ce risque étant donné les différents potentiels de transfert en fonction des gènes recombinants impliqués et du potentiel de sélection de l'organisme receveur (SRC, 2001 :125; Snow *et al.*, 2004 : 14; ACIA, 2004). Les conséquences précises sur l'environnement (eau, sol, air, biodiversité) ne sont que théoriques et sont liées à la présence dans l'environnement de bactéries (eau, sol) ayant incorporé le transgène dans leur génome donnant lieu à une nouvelle voie de propagation dans l'environnement (Snow *et al.*, 2004).

Néanmoins, il appert que toute forme de pollution génétique en découlant est une pollution qui cherchera à se reproduire et se répandre (Séralini, 2003), ce qui peut avoir des conséquences majeures sur l'évolution des organismes touchés. En 2001, en ce qui concerne les OGM cultivés, la Société royale du Canada (SRC) statuait qu'«il a été impossible de démontrer que le transfert latéral de gènes des cultures transgéniques à la microflore naturelle des sols a eu un impact important sur la qualité des sols ou l'écologie fonctionnelle. Il s'est avéré plutôt difficile de détecter un tel transfert, bien qu'on ait démontré que ce transfert puisse survenir dans des circonstances quelque peu artificielles» (SRC, 2001 : 125-126). Ainsi, c'est au niveau de la compréhension même du phénomène de TGH que l'incertitude réside et peu de recherches y auraient été jusqu'ici consacrées (SRC, 2001).

Le phénomène de TGH est certainement survenue plusieurs fois au cours de l'évolution puisque tous les animaux possèdent des mitochondries⁴⁹, un organe cellulaire fonctionnant avec son propre ADN au sein de la cellule. S'opérant par transformation⁵⁰, transduction⁵¹ et conjugaison⁵² chez la bactérie (Prescott *et al.*, 1995; SRC, 2001; Andersson, 2005), on rapporte notamment la transformation d'*Escherichia coli* en eaux douces (Baur *et al.*, 1996). Les transgènes pouvant se transférer à d'autres espèces bactériennes de la même manière que les gènes non modifiés (Snow *et al.*, 2004: 14), plus grande serait l'homologie des séquences, plus grandes seraient les possibilités de transformations bactériennes (SRC, 2001; ACIA, 2004; Snow *et al.*, 2004). De plus, la présence d'antibiotiques pourrait même créer de fortes pressions sélectives stimulant le TGH entre bactéries (Salyers *et al.*, 1995, Whittle *et al.*, 2002), ce qui pourrait favoriser un tel phénomène chez des animaux d'élevage déjà quotidiennement exposés à de telles substances comme c'est le cas au Québec (voir Chapitre II).

Selon ces informations, on ne pourrait écarter la possibilité que survienne un TGH des transgènes de l'Enviropig^{MD} aux bactéries du système digestif du porc, et que ces transgènes et/ou bactéries se retrouvent dans l'environnement, et se transmettent aux bactéries dans le sol ou de l'eau via l'épandage et le ruissellement des lisiers. Dans une telle éventualité, l'impact serait lié à l'acquisition, par les organismes contaminés, de nouvelles voies de propagation dans l'environnement découlant de cette nouvelle possibilité de produire de la phytase afin de métaboliser le phytate. Sachant que l'équipe de recherche affirme avoir eu recours à un gène de phytase qui provenait d'une souche bactérienne *E. coli*, laquelle produisait une enzyme dix fois plus efficace pour métaboliser les molécules de phytate (Clarke, 2001), quel serait l'impact sur les organismes qui pourraient acquérir ce nouveau trait? Nul ne le sait.

⁴⁹ Organite eucaryote, siège du transport d'électrons, de la phosphorylation oxydative et de voies métaboliques comme le cycle de Krebs; elle produit la majorité de l'énergie non photosynthétique d'une cellule en condition non aérobie (Prescott *et al.*, 1995).

⁵⁰ Mode de transfert de gènes chez les bactéries dans lequel un morceau d'ADN est pris par une cellule bactérienne et intégré dans son génome (récepteur). Toute portion du génome peut être transférée entre bactéries (Prescott *et al.*, 1995).

⁵¹ Transfert de gènes entre bactéries par l'intermédiaire de bactériophages (Prescott *et al.*, 1995).

⁵² Chez les bactéries, mode de transfert de gènes et de recombinaison qui nécessite un contact direct entre les cellules (Prescott *et al.*, 1995).

Enfin, d'autres risques au plan environnemental ont été identifiés dans la littérature, mais ne représentent pas, dans le cas du Québec, un haut niveau d'inquiétude. C'est le cas de la fuite accidentelle dans l'environnement de porcs transgéniques. Compte tenu de l'absence de porcs sauvages au Québec et vue la taille du porc qui en fait un animal facilement contrôlable dans l'environnement (NAS, 2002), le transfert génétique vertical (par reproduction sexuée) du transgène est peu probable. Ce risque est donc pratiquement nul à moins que la multiplication des élevages de porcs transgéniques combinée à la multiplication d'événements extrêmes sous la poussée des changements climatiques favorisant l'échappée de porcs d'élevage ne conduise à de tels événements accidentels.

5.2 RISQUES SOCIO-SANITAIRES

Jusqu'à aujourd'hui, en l'absence d'études poussées permettant de trancher la question, on n'a pu démontrer avec certitude l'existence de risques significatifs pour la santé humaine qui seraient liées à l'exposition à des OGM, ce qui toutefois ne permet aucunement de prétendre à l'absence de risques. En fait, nous avons identifié seulement quelques études scientifiques dans la littérature quant aux tests faits sur des animaux nourris avec des plantes modifiées génétiquement. Certaines de ces récentes études sur la santé de rats et de souris nourris avec du maïs ou du soya génétiquement modifié sont pourtant révélatrices d'effets néfastes non négligeables : variations du taux de globules rouges ou blancs, modifications du fonctionnement hépatique ou rénal (Séralini, 2003; Séralini, 2007), anormalités de transcription nucléaire dans les cellules du foie (Malatesta *et al.*, 2002), du pancréas (Malatesta *et al.*, 2003) et des testicules (Vecchio *et al.*, 2004).

Bien que l'on puisse classer ces expérimentations de différentes manières, un bilan des tests faits sur des animaux nourris avec des plantes génétiquement modifiées a été établi en 2001⁵³ où, sur cinquante-quatre références au total, trente et une n'étaient pas évaluées par des pairs (Séralini, 2003). Pryme et Lembcke rapportaient quant à eux en 2003 que seulement 10 études effectuées avec des plantes transgéniques avaient été recensées dans la littérature

⁵³ Colloque *OGM et alimentation, peut-on évaluer les bénéfices pour la santé*, organisé par l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) (17-18 décembre 2001).

alors que Preston en recensait 42 en 2005. Dans tous les cas, la plupart des ouvrages recensés n'étaient pas révisés par des paires et étaient plutôt des résumés, des comptes-rendus de colloques, des études diffusées sur le Web, des commentaires, des opinions, des lettres à l'éditeur ou des brèves (Domingo, 2000; Seralini, 2003).

En dépit de ce manque de données scientifiques, plusieurs risques potentiels pour la santé humaine ont pu être identifiés en regard l'exposition alimentaire aux animaux transgéniques (Tableau 5.1).

Tableau 5.1
Risques sociosanitaires connus et potentiels de l'exposition alimentaire
aux animaux transgéniques.

Facteurs	Risques sociosanitaires	Enviropig^{MD}
Variations nutritionnelles qualitative et/ou quantitative	Altération de la qualité nutritionnelle de la viande transgénique.	Uzogara, 2000; Kocchar et Evans, 2007
Expression ectopique du transgène	Développement d'allergie dirigée contre la protéine recombinante.	Uzogara, 2000; SRC, 2001; NAS, 2002; Sharrat, 2003
	Toxicité de la protéine recombinante.	CST, 2002; NAS, 2002; Kocchar et Evans, 2007
	Bioactivité de la protéine recombinante.	NAS, 2002; Kocchar et Evans, 2007
Création de nouveaux allergènes ^a	Développement d'allergie dirigée contre la protéine recombinante ou d'autres protéines endogènes de l'hôte.	SRC, 2001
Surexpression d'une protéine existante ou d'un autre constituant toxicologiquement actif.	Degré d'exposition supérieur au constituant en question par rapport à celui auquel les humains sont habituellement exposés à travers leur régime alimentaire.	SRC, 2001
TGH du transgène aux cellules intestinales et/ou aux bactéries humaines.	Les risques sont inconnus.	-

^a La création de nouveaux allergènes peut se produire de différentes manières : (1) expression d'allergène(s) endogène(s) supérieure(s) à la variabilité naturelle; (2) changement dans la modification post-traductionnelle de protéines endogènes ou transgéniques (ex.: glycosylation, structure tridimensionnelle) et (3) modification post-traductionnelle différente entre eucaryotes et procaryotes (SRC, 2001; Ho, 2005).

Les risques sociosanitaires de l'exposition alimentaire à la viande d'animaux transgénique découlent pour la plupart des impacts en cascade de l'insertion au hasard du ou des transgène(s) et des effets pléiotropiques imprévisibles et mal connus survenant chez les animaux transgéniques (section suivante). Il est important de noter que les effets de l'expression du transgène sur le bien-être des animaux peuvent aussi affecter la sécurité alimentaire des produits transgéniques par le biais de mécanismes complexes causés par le stress induit par la modification génétique (NAS, 2002). Quant à l'effet des gènes étrangers sur la composition nutritionnelle des plantes et des animaux transgéniques, peu d'informations sont disponibles à propos des interactions des nutriments, de l'interaction nutriment-gène, de la biodisponibilité des nutriments, de leur teneur et de leur métabolisme (Uzogara, 2000).

Outre l'altération de la qualité nutritionnelle de la viande d'animaux transgéniques pouvant potentiellement survenir suite à une modification génétique, ce sont le développement d'allergie, la toxicité et la bioactivité découlant de l'expression ectopique du transgène qui représentent un risque pour la santé humaine. Dans l'éventualité où la protéine recombinante se retrouverait dans un tissu différent de celui qui était prévu, comme dans certaines parties consommées, Kocchar et Evans (2007) de l'ACIA ajoutent que d'autres problèmes imprévisibles pourraient survenir, sans toutefois pouvoir en préciser la nature ce qui dénote un manque de connaissance à ce niveau.

De tous les risques, c'est probablement la création de nouveaux allergènes qui soulève le plus d'inquiétudes en ce qui a trait aux animaux transgéniques. C'est que l'insertion d'une construction génétique, au sein d'un organisme, pouvant potentiellement perturber les gènes endogènes de l'hôte, de nouveaux composés allergènes pourraient être créés et proviendraient soit du ou des transgènes intégré(s), soit des gènes endogènes de l'hôte dont l'expression pourrait être perturbée par la modification génétique (voir section suivante). De la même manière, ces nouvelles protéines, leur modification ou l'accroissement de leur expression pourraient être toxiques pour l'humain du fait qu'elles n'ont jamais été consommées auparavant dans une telle concentration ou sous une telle forme.

Tout comme les risques entraînés par le TGH sur l'environnement, ceux sur la santé humaine demeurent aussi hypothétiques que non vérifiés. Une chose est sûre, c'est que le TGH, découlant de la consommation de viande transgénique, à des cellules humaines et/ou aux bactéries du système digestif, n'avait pas été évalué au moment de finaliser ce mémoire en janvier 2008, les rares études se consacrant aux cultures transgéniques. Alors que certains estiment que le risque de transfert d'ADN fonctionnel dans les bactéries du système digestif humain est extrêmement faible (Food Standards Agency, 2002 cité dans Forsberg *et al.*, 2003), ou que l'ADN étranger est détruit dans l'intestin et n'est pas recapté sous une forme fonctionnelle par des bactéries qui s'y trouvent (Netherwood *et al.*, 2004), d'autres affirment que «des bactéries d'estomac de volontaires humains ont bien capté des gènes d'OGM consommés» (Séralini, 2003). «Cependant, dans la pratique, à partir des expériences disponibles, nous ne pouvons pas encore analyser réellement ce risque, parce que toutes les situations n'ont pas été étudiées et que de nombreuses incertitudes ne sont pas levées.» (*ibid.*). En l'absence de recherches adéquates et de travaux de contre-expertises, les conséquences pour la santé humaine ne peuvent donc être définies actuellement avec précision.

Le TGH pourrait ainsi survenir entre des bactéries ayant incorporé le transgène et des cellules humaines, suite à la consommation de viande transgénique, dans la mesure où le transfert génétique d'une cellule procaryote à une cellule eucaryote est tout à fait possible (Anderson, 2005). À cet effet, le transfert de gènes de résistance à des antibiotiques de la bactérie *E. coli*, isolée de fèces de porcs, à des lignées d'*E. coli* présentes chez l'humain a déjà été réalisé *in vitro* (Nijsten *et al.*, 1996). Quant à Marshall *et al.* (1990), ceux-ci auraient même observé des lignées d'*E. coli* résistantes à des antibiotiques, préalablement consommés par des porcs, dans l'eau, la litière, des souris résidentes dans le même enclos, des mouches et des humains prenant soin des animaux et ce, durant les quatre mois qu'a duré la prise de données.

En ce qui concerne les données spécifiques à l'Enviropig^{MD} quant aux risques qu'il représente pour la santé humaine, notre examen de la littérature n'a pas permis de recenser aucune étude vraiment significative. La plupart des données rapportées proviennent d'études

non spécifiquement dédiées à ces questions, relevant souvent d'hypothèses, et dont les principales sont résumées dans le tableau 5.2.

Tableau 5.2
Données spécifiques au porc transgénique hypophosphorique (Enviropig^{MD}) quant
facteurs de risques sociosanitaires connus et potentiels de l'exposition alimentaire aux
animaux transgéniques.

Facteurs	Enviropig^{MD}	Références
Variations nutritionnelles qualitative et/ou quantitative	La viande de l'Enviropig ^{MD} a été testée et rencontre les standards nutritionnels et de composition définis par Santé Canada ^a pour l'évaluation de la sécurité et la qualité des aliments nouveaux. D'autres études seraient en cours chez l'Enviropig ^{MD} .	Castel <i>et al.</i> , 2006; Verschoor <i>et al.</i> , 2006; Wright <i>et al.</i> , 2006
Expression ectopique du transgène	Plusieurs autres tissus, que les tissus ciblés par le promoteur du transgène utilisé, exprimaient la phytase recombinante (activité enzymatique $\approx 0,1\%$) dont des parties comestibles comme le foie, le cœur, la peau et le muscle.	Golovan <i>et al.</i> , 2001a
Création de nouveaux allergènes	Trois lignées de porc transgénique produisent une phytase recombinante qui possèdent plusieurs sites glycosylés comparativement à la phytase d'origine bactérienne. Des études seraient en cours chez l'Enviropig ^{MD} .	Phillips <i>et al.</i> , 2002; University of Guelph, 2004; Forsberg <i>et al.</i> , 2005a; Husain <i>et al.</i> , 2006
Surexpression d'une protéine existante ou d'un autre constituant toxicologiquement actif.	Des études seraient en cours chez l'Enviropig ^{MD} .	University of Guelph, 2004
TGH du transgène aux cellules intestinales et/ou aux bactéries humaines.	Aucune étude n'est en cours chez l'Enviropig ^{MD} .	-

^a Il n'y a actuellement aucun animal transgénique, ou aliment dérivé, approuvé sous le *Règlement sur les aliments nouveaux* (Santé Canada, 2006).

Bien que Castel *et al.* (2006) affirment que l'Enviropig^{MD} rencontre les standards nutritionnels et de composition prescrits par Santé Canada, ils ajoutent que les directives permettant d'affirmer un tel propos sont sous-optimales parce que certaines sections sont non applicables à l'Enviropig^{MD}, que d'autres enjeux peuvent ne pas être couverts comme certaines différences physiologiques alors que la sécurité suite à l'exposition alimentaire

serait quant à elle encore à être démontrée. Ainsi, d'autres recherches seront nécessaires. Le Dr. Forsberg, un des concepteurs de l' Enviropig^{MD} croit quant à lui que les protocoles pour évaluer l'innocuité des animaux transgéniques peuvent être basés sur ceux des plantes transgéniques avec quelques spécificités quant à la méthode d'échantillonnage des tissus, la méthode de prétraitement avant l'analyse de l'échantillon et l'étendue du test (Forsberg, 2001).

Plusieurs raisons attestent du potentiel allergène de la phytase produite par les porcs transgéniques. Premièrement, trois différentes lignées de porcs transgéniques exhibent des propriétés catalytiques de l'enzyme phytase identiques à celle produite originalement par la bactérie *E. coli*, mais possèdent plusieurs sites glycosylés ce qui a pour effet d'augmenter la masse moléculaire de l'enzyme produite chez l'Enviropig^{MD} (Phillips *et al.*, 2002; Forsberg *et al.*, 2005a). Tel que mentionné dans le tableau 5.1, cette modification de la glycosylation de la protéine recombinante pourrait modifier le caractère allergène de la phytase, voire le créer.

Deuxièmement, 38 individus sur 53, ayant manipulé de la phytase fongique (*Aspergillus niger*) dans un centre technique, en laboratoire ou dans une ferme expérimentale, ont développé de la dyspnée (n=12), une rhinite (n=35), une conjonctivite (n=16) et/ou des réactions d'hypersensibilité cutanées (n=3). Quatorze d'entre eux ont même développé des anticorps IgE spécifiques à la phytase et 24 avaient des anticorps IgG spécifiques à la phytase (Baur *et al.*, 2002). Cette étude révèle en fait que l'humain est apparemment atopique⁵⁴ à la phytase d'origine fongique. Sans savoir si le ou les épitopes allergènes (portions de la protéine responsable de la réponse immunologique) de cette phytase fongique et de la phytase produite par l'Enviropig^{MD} sont semblables et capables de déclencher les mêmes réactions immunologiques, il demeure que cette observation ne doit pas être prise à la légère. La production de phytase étant ciblée dans les glandes salivaires du porc, la protéine recombinante ne pourrait-elle pas alors se retrouver dans l'air des porcheries et entraîner, comme chez ces travailleurs d'usine de phytase, diverses réactions allergiques? En fait, «l'inhalation de certaines protéines ou le contact cutané fréquent avec celles-ci peuvent provoquer une allergie ou l'asthme professionnel». (SRC, 2001), ce qui témoigne que

⁵⁴ Atopie : génotype allergique ou prédisposition génétique aux affections allergiques.

d'autres voies d'exposition sont aussi possibles. Même l'exposition alimentaire pourrait entraîner des réactions allergiques en dépit du fait que ce soit des traces de phytase qui ont été retrouvées dans la viande de l'Enviropig^{MD} puisque la «quantité d'allergènes nécessaire pour provoquer une réaction allergique peut être étonnamment petite» (SRC, 2001). En outre, la phytase exprimée dans le porc peut agir comme allergène lorsque les humains consomment le porc, puisqu'elle n'a pas été préalablement consommée comme constituant alimentaire sauf à travers la présence accidentelle d'*E. coli* dans la nourriture ou due à sa présence dans la flore normale du côlon (Forsberg *et al.*, 2003 (traduit de l'anglais)).

Troisièmement, tel que mentionné ci-haut, c'est le fait que de la phytase recombinante soit retrouvée ailleurs que dans les glandes salivaires, notamment dans plusieurs parties comestibles, qui nous pousse à croire qu'il y aurait non seulement un risque de développer une allergie suite à la consommation de viande d'Enviropig^{MD}, mais aussi des risques de toxicité et de bioactivité en dépit du fait que ce soit une très faible activité enzymatique qui ait été mesurée dans ces parties.

Sur le plan des examens réalisés par l'équipe de chercheurs, comme il a été possible de le constater dans le tableau 5.2, certaines études seraient en cours afin d'évaluer la sécurité alimentaire du porc transgénique hypophosphorique, ce qui empêcherait les concepteurs de l'Enviropig^{MD} d'en mesurer le potentiel de risques sociosanitaires, bien que les stratégies d'évaluation prévues soient, comme nous le verrons, fortement contestables.

Enfin, bien que les questions d'étiquetage et de traçabilité des aliments contenant des OGM n'aient pas été traitées dans le présent mémoire, il est intéressant de mentionner que des travaux en cours visent à développer des techniques de détection des sous-produits de l'Enviropig^{MD} dans la chaîne alimentaire (PCR) et des quantités de phytase recombinante (Western Blot et/ou ELISA) (Simard *et al.*, 2006), ce qui soulève par ailleurs la question de la responsabilité en cas de problèmes (les détenteurs du brevet, l'État, etc.) et celle des coûts liés à la traçabilité et l'étiquetage.

5.3 RISQUES ZOOSANITAIRES

D'emblée, l'ACIA (2004) affirme que «dans un domaine aussi nouveau que la biotechnologie animale, les dangers génotypiques et du phénotypique [sic] n'ont pas été entièrement identifiés et caractérisés.» À cet effet, plusieurs auteurs affirment que la modification génétique *per se* peut être risquée pour l'animal (Van Reenen *et al.*, 2001). L'altération d'un équilibre délicat, établi au cours d'une sélection longue de plusieurs générations, représentant un nombre incalculable de combinaisons génétiques optimisées, peut conduire, lors des manipulations, à des effets imprévisibles et néfastes affectant le phénotype des animaux soumis à de telles modifications (Kruip et Van Reenen, 2000; Van Reenen *et al.*, 2001). Le tableau 5.3 expose les différents facteurs découlant de la transgénèse pouvant affecter la santé et le bien-être des animaux transgéniques.

Tableau 5.3
Risques zoosanitaires connus et potentiels de la transgénèse animale.

Facteurs	Risques zoosanitaires	Références
Insertion au hasard d'un ou plusieurs transgènes.	Mutation insertionnelle: la mutation au point d'insertion peut interrompre ou gêner d'autres gènes endogènes de l'hôte ce qui peut, dépendamment de la fonctionnalité génétique touchée (suppression immunitaire, maladie infectieuse) ou de la voie métabolique impliquée, affecter la santé et le bien-être animal. Les mutations peuvent être dominantes ou, dans le cas des animaux fondateurs hémizygotes ou des descendants homozygotes, récessives.	Van Reenen <i>et al.</i> , 2001; NAS, 2002; Smith, 2002; Séralini, 2003; Moreau et Jordan, 2005
	Effets pléiotropiques ^a : l'action d'éléments génétiques ^b du transgène peut activer l'expression de gènes endogènes donnant potentiellement lieu à une variété d'effets phénotypiques, apparemment non reliés, pouvant notamment accroître la vulnérabilité des animaux face aux maladies.	Van Reenen <i>et al.</i> , 2001; SRC, 2001; NAS, 2002; Kochhar <i>et al.</i> , 2005
	Activation d'un génome viral.	NAS, 2002; Houdebine et Renard, 2005
	Activation d'un oncogène.	NAS, 2002
Expression du transgène ^c	Effet de position : gènes endogènes peuvent interrompre, gêner ou stimuler l'expression du transgène ou provoquer une expression ectopique.	Pursel et Rexroad, 1993; Wall, 1996; Van Reenen <i>et al.</i> , 2001; Séralini, 2003
	Perte de contrôle de l'expression du transgène (niveau, site, contrôle développemental, contrôle temporel). Peut exposer l'hôte à des protéines biologiquement actives dérivées du transgène et perturber l'homéostasie.	Van Reenen <i>et al.</i> , 2001
Reproduction des troupeaux à partir de quelques fondateurs transgéniques	Augmentation de la susceptibilité aux maladies vue la diminution de la biodiversité.	NRC, 2002; Sang, 2003
Introduction dans la filière commerciale	«[M]écanismes normaux d'adaptation des animaux à leur milieu physique et social peut avoir été compromis.»	SRC, 2001

^a Ensemble des changements du phénotype d'un organisme qui surviennent après un seul changement génétique. Ces changements sont difficiles à prévoir et ne se produisent pas nécessairement dans l'immédiat (Denault, 2005).

^b Promoteur, «enhancer», gène de fusion ou élément stabilisateur d'ARN messager (NAS, 2002).

^c Les éléments de contrôle du transgène peuvent ne pas posséder les séquences nécessaires pour une régulation et une expression génétique adéquate (Van Reenen *et al.*, 2001).

Alors qu'on ignore toujours le mécanisme d'intégration au hasard de l'ADN étranger lors de la création d'animaux transgéniques (Houdebine, 1998; Pinkert et Murray, 1999),

comme plusieurs copies du transgène, ou des séquences d'ADN autres que le transgène, peuvent s'insérer dans le génome durant la microinjection, cela peut avoir pour effet la création de plusieurs animaux transgéniques aux déficiences génétiques variables (NAS, 2002).

Ainsi, par le biais de l'altération du niveau de production d'une protéine naturelle ou recombinante, conséquences potentielles des phénomènes de mutation insertionnelle, d'effets pléiotropiques ou d'effet de position, la transgénèse animale peut entraîner des changements physiologiques et comportementaux indésirables, ce qui peut potentiellement accroître la vulnérabilité des animaux face aux maladies où, de surcroît, des génomes viraux ou des oncogènes pourraient être activés (SRC, 2001; NAS, 2002). Outre les impacts directs sur le génome des animaux, l'altération de fonctions biologiques découlant de la transgénèse peut aussi survenir au niveau des réactions métaboliques. Ce sont les effets pléiotropiques difficiles à prédire (Séralini, 2003), qui impliquent notamment les produits du transgène (ARN ou protéine) et d'autres éléments cellulaires (Houdebine, 2004). Ainsi, toutes ces altérations génétiques «peuvent aussi perturber l'équilibre optimal des éléments nutritifs dont l'animal a besoin, voir modifier ses besoins en matière d'éléments nutritifs essentiels.» (SRC, 2001) L'ACIA (2004) ajoute que

les dangers liés à l'expression du transgène peuvent varier selon la génération (animal fondateur, animal de la première ou de la deuxième génération) et selon d'autres caractéristiques génétiques (ex. homozygotie ou hétérozygotie) de l'animal transgénique. Ces facteurs peuvent influencer sur le degré d'expression (transcription, traduction, modifications post-traductionnelles, etc.) du transgène ou jouer un rôle dans l'accumulation et la distribution du produit dans divers tissus (ACIA, 2004).

La question de la variabilité génétique, garante d'une riche biodiversité, pourrait aussi être affectée dans la mesure où les cheptels transgéniques seraient engendrés à partir de seulement quelques lignées fondatrices, ce qui pourrait accroître la vulnérabilité des animaux lors d'épidémies. Outre l'appauvrissement génétique, le fait qu'un animal transgénique, créé en laboratoire et soit maintenu sous de strictes conditions, doit-on craindre que ses mécanismes d'adaptation soient compromis une fois élevé sous des conditions d'élevage

intensives? Dans un tel cas, encore une fois, c'est la résistance aux maladies qui pourrait être compromise.

Concernant les données spécifiques à l'Enviropig^{MD} en ce qui a trait aux risques pour leur santé et leur bien-être, tout comme les données sur les risques sociosanitaires, l'ensemble des données rapportées, regroupées dans le tableau 5.4, proviennent d'études qui ne traitent pas spécifiquement de ces questions, mais permettent toutefois d'apporter d'importants éléments d'information.

Tableau 5.4
Données spécifiques au porc transgénique hypophosphorique (Enviropig^{MD}) quant aux
facteurs de risques zoonosantaires connus et potentiels de la transgénèse animale.

Facteurs	Enviropig ^{MD}	Références
Insertion au hasard d'un ou plusieurs transgène(s).	Le nombre de copies du transgène était de 35 et de 2 pour deux lignées qui ont été évaluées Wayne (WA) et Jacques (JA).	Golovan <i>et al.</i> , 2001a
	Une analyse du protéome de la glande parotide d'Enviropig ^{MD} , comparativement à des porcs non transgéniques, a démontré que l'expression des gènes <i>SAL</i> ^a , <i>AMY</i> ^b , <i>LYS</i> ^c et <i>PSP</i> ^d a été sous-réglée par un facteur de 1.71 ($P = 0.23$), 3.53 ($P = 0.03$), 2.01 ($P = 0.03$) et 1.80 ($P = 0.23$) respectivement.	Verschoor <i>et al.</i> , 2005
Expression du transgène	L'activité enzymatique de la phytase chez une lignée de porc, dont l'expression génétique était la plus élevée, variait énormément selon la position du transgène, les individus dans une même portée et l'âge des individus.	Golovan <i>et al.</i> , 2001a
	Plusieurs autres tissus, que les tissus ciblés par le transgène utilisé, exprimaient le transgène (activité enzymatique $\approx 0,1\%$).	Golovan <i>et al.</i> , 2001a
	Des différences entre 15 verrats et 15 truies descendants (G1) des trois lignées G1 Jacques (JA), Wayne (WA) et Gordie (GO) ont été observés au niveau de l'activité enzymatique de la phytase (303.57 ± 63.77 vs 144.96 ± 63.77 $\mu\text{mol}/\text{mL}/\text{min}$; $P < 0,10$) et du calcium total contenu dans les fèces (0.89 ± 0.05 vs. $1.03 \pm 0.04\%$ <i>on DM basis</i> ; $P < 0.05$), mais pas au niveau de la quantité de phosphore total contenue dans le fumier (0.89 ± 0.05 vs $1.03 \pm 0.04\%$ <i>on DM basis</i>).	Ajakaiye <i>et al.</i> , 2005
	Des variations de l'activité de la phytase salivaire (JA, 46; WA, 460; GO, 167 $\mu\text{mol}/\text{mL}/\text{min}$), du contenu en phosphore total fécal (JA, 0.63; WA, 0.46; GO, 0.82% <i>on DM basis</i>) et du calcium fécal (JA, 1.02; WA, 0.66; GO, 1.17% <i>on DM basis</i>) ont été observées entre les trois lignées analysées.	Ajakaiye <i>et al.</i> , 2005
Reproduction des troupeaux à partir de quelques fondateurs transgéniques	Seulement trois lignées ont été utilisées pour la production des cheptels existants et des animaux transgéniques homozygotes, obtenus eux par des croisements d'animaux transgéniques. Ainsi, les Enviropig ^{MD} homozygotes pourraient notamment servir à propager le transgène par le biais de croisements traditionnels.	Forsberg <i>et al.</i> , 2005b
Introduction dans la filière commerciale.	Aucune étude disponible	-

^a*SAL* (salivary lipocalin precursor). ^b*AMY* (α -amylase). ^c*LYS* (lysosyme C-I). ^d*PSP* (endogenous parotid secretory protein).

En ce qui a trait à la santé des porcs transgéniques obtenus par Golovan *et al.* (2001a), ces derniers n'ont pas détecté d'effets délétères sur la santé ou la performance des porcs et ils ont affirmé que tous les tissus des individus échantillonnés pour l'expression de la phytase semblaient normaux suite à un examen morphologique grossier et suite à des analyses histologiques détaillées. En outre, les concepteurs de l'Enviropig^{MD} auraient procédé à l'évaluation de la santé animale grâce à une méthode qu'ils qualifient de standard et bien documentée en réalisant dix-sept tests hématologiques et vingt-cinq tests biochimiques qui n'auraient révélé aucune différence significative entre le porc transgénique et une lignée conventionnelle Yorkshire (Meidinger, 2005). Ils ajoutent que la cinquième génération de porcs transgéniques produisait de la phytase salivaire à un niveau similaire que celui du porc fondateur et les caractéristiques de croissance et de reproduction étaient semblables aux porcs Yorkshire non transgéniques (Forsberg *et al.*, 2005a). D'autres recherches seraient en cours et porteraient sur les caractéristiques reproductives et de croissance des porcs transgéniques (University of Guelph, 2004).

Étant donné que la microinjection est basée sur l'injection de milliers de copies du transgène, il n'est pas surprenant de retrouver un aussi grand écart du nombre de copies du transgène intégrées entre deux des lignées évaluées en ce sens, soit 2 copies pour la lignée Jacque (JA) et 35 copies pour la lignée Wayne (WA), ce qui laisse croire que la troisième lignée, Gordie (GO), étudiée dans d'autres études, posséderait elle aussi un nombre plus ou moins élevé de copies du transgène. Ces variations du nombre de copies pour chaque lignée, intégrées au hasard en des endroits différents au sein du patrimoine génétique, font en sorte que ces trois lignées sont toutes composées d'animaux transgéniques différents comportant leurs propres potentiels de défauts génétiques.

Cette intégration au hasard de copies multiples du transgène n'est probablement pas étrangère au fait que l'analyse de quatre protéines endogènes présentes dans les glandes parotides de porcs transgéniques ait révélé que tous les gènes codants ces protéines étaient sous-régulés (Verschoor *et al.*, 2005), et que certaines fonctions, notamment celles reliées à la salive, pourraient avoir été compromises. En outre, ces différences de profil d'insertions

génétiques sont peut-être reliées au fait que l'activité enzymatique de la phytase, entre les trois lignées transgéniques, variait considérablement (Ajakaiye *et al.*, 2005).

Les différences sur le plan génotypique, capables d'influence sur le phénotype, des variations d'expression génétique du transgène ont aussi été observées en fonction de la position du transgène des individus d'une même portée et l'âge des sujets étudiés et ce, au sein d'une même lignée générée (Golovan *et al.*, 2001a). D'autres recherches, elles aussi menées par l'équipe de concepteurs, ont également démontré que l'activité enzymatique de la phytase variait selon le sexe des individus de la première génération des trois lignées étudiées, où les mâles affichaient une activité enzymatique pratiquement deux fois supérieure à celle des femelles alors que bizarrement, la quantité de phosphore contenue dans le fumier était sensiblement similaire entre les verrats et les truies transgéniques (Ajakaiye *et al.*, 2005).

De plus, bien que les chercheurs affirment que le transgène de l'Enviropig^{MD} est transmis de manière mendélienne à la progéniture, ils ne sont pas complètement certains de sa stabilité au fil des générations. Ils prétendent qu'il sera possible de le confirmer une fois qu'ils auront réussi à déterminer le nombre de copies du transgène répétées en tandem (Phillips *et al.*, 2002).

Sur le plan de l'introduction possible des porcs transgéniques hypophosphoriques dans les élevages, le maintien d'une riche biodiversité des cheptels, garante de la résilience face aux perturbations possibles, et le comportement qu'auraient ces porcs, une fois élevés dans les conditions qui prévalent en production intensive, n'ont pas été étudiés par les concepteurs. Il est toutefois possible de dire que ceux-ci prévoient probablement propager le transgène grâce aux croisements d'animaux transgéniques homozygotes avec des animaux non transgéniques, ce qui pourrait limiter la possibilité de maintenir une riche variabilité génétique parce que seulement un des deux «parents» pourrait servir à ce contrôle, alors que l'autre servirait seulement à apporter le nouveau trait génétique. En fait, la question se pose d'autant plus que la sélection génétique des porcs est actuellement basée sur une série de caractéristiques physiques exigée par le marché.

En ce qui a trait aux risques que l'hôte transgénique soit exposé à des protéines biologiquement actives, Golovan *et al.* (2001a) ont observé, comme nous avons pu le constater plus tôt, que plusieurs autres tissus, autres que les glandes salivaires, exprimaient le transgène, ce qui pourrait potentiellement affecter la santé des bêtes bien que l'on ne sache pas si la phytase recombinante, une fois qu'elle se retrouve ailleurs dans l'animal, peut affecter certaines voies métaboliques ou être carrément toxique pour les animaux.

Un autre risque pour la santé des porcs transgéniques, qui n'est pas dans le tableau 5.4, est lié à l'absorption du phosphore. Bien que ce risque n'ait été recensée dans la littérature, les effets d'une surabsorption du phosphore ne sont pas clairs. Ainsi, une étude effectuée sur des porcs nourris avec une diète suppléée en phytase fongique démontrait une relation directe entre l'augmentation du contenu en phosphore facilement assimilable et la minéralisation osseuse (Harper *et al.*, 1997). Par ailleurs, des études reconduites sur des rats nourris avec une diète riche en phosphore démontraient quant à elles que les rats présentaient une calcification des tissus non osseux, une déminéralisation osseuse et une diminution de l'absorption d'autres éléments essentiels (Katsumata *et al.*, 2006). Bien que les systèmes physiologiques des rats et des porcs soient considérablement différents et que ces études n'impliquent pas exactement les mêmes paramètres, on ne peut prétendre que l'augmentation de la quantité de phosphore absorbée n'aura aucun effet en s'appuyant sur les travaux de Harper *et al.* C'est que les quantités de phytase testées ne dépassaient pas 500 U par kilogramme de nourriture, alors que l'Enviropig^{MD} en produit entre 100 000 à 200 000 U par kilogramme de nourriture (Golovan *et al.*, 2001a, b; *Guelph Transgenic Pig Research Program*), soit, dans ce cas, entre 200 à 400 fois plus. En outre, le gène utilisé dans la construction génétique pour coder l'enzyme phytase serait beaucoup plus efficace pour métaboliser une molécule de phytate (Clarke, 2001). Phillips *et al.* (2002) affirment que les porcs transgéniques homozygotes, qui pourraient notamment servir à propager le nouveau trait génétique parmi les cheptels, auraient même une activité enzymatique de la phytase substantiellement supérieure à celle des porcs transgéniques hétérozygotes, sans pour autant qu'ils en divulguent les détails. Tout compte fait, les impacts zoosanitaires de la surabsorption de phosphore chez les porcs transgéniques qui n'ont fait l'objet d'aucune investigation de la part des concepteurs et d'aucune expertise indépendante, ne peuvent être

prédits. L'ensemble de ces informations fait en sorte qu'un tel risque se doit d'être considéré dans l'éventualité où un tel animal serait introduit dans les pratiques d'élevage.

L'identification des risques de la transgénèse animale, en l'occurrence ceux liés à la commercialisation du porc transgénique hypophosphorique, n'est pas sans soulever nombre d'interrogations qui sont, pour la plupart, encore non élucidées. Sans pouvoir confirmer si oui ou non la transgénèse animale comporte des impacts connus sur l'environnement, la santé humaine et animale, il demeure que les incertitudes scientifiques sont nombreuses, ce qui pose la question plus fondamentale de la pertinence de telles recherches et exige le développement de politiques publiques à même de prévenir de tels risques.

CHAPITRE VI

INCERTITUDES SCIENTIFIQUES, DISPOSITIFS D'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE ET POLITIQUES PUBLIQUES

À la lumière des risques connus et potentiels pour la santé environnementale, humaine et animale, que représente la commercialisation du porc transgénique hypophosphorique au Québec, il apparaît qu'une telle stratégie est incompatible avec les principes d'une agriculture durable. En fait, le maintien ou l'augmentation du niveau de la production porcine maintiendrait le *statu quo* quant à tous les impacts sur l'intégrité fonctionnelle de l'agroécosystème sauf peut-être ceux causés par le phosphore et peut-être l'azote et encore là, comme nous le verrons, cela dépend d'un ensemble d'autres facteurs socio-politiques et économiques. Dans ce chapitre, nous examinerons comment les effets de la transgénèse animale se traduisent sur le plan des risques environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires et quels sont les zones d'ombre en termes d'évaluations scientifiques et de politiques publiques.

6.1 INTENSIFICATION DE LA PRODUCTION

L'intensification de la production porcine est sans doute le facteur de risque le plus important étant donné ses impacts multiples tant sur l'environnement que sur la santé humaine et animale. Si en prétendant respecter la restriction normative qu'est la quantité de phosphore permise par superficie de terre, on utilise la loi actuelle pour légitimer l'augmentation des volumes d'épandage, on risque fort d'exacerber alors tous les autres impacts de la production porcine intensive (Proulx et Sauvé, 2007); même sans aucune augmentation de la production animale, les impacts globaux déjà ressentis, hormis peut-être ceux liés aux rejets de phosphore dans l'environnement, seraient maintenus. Ainsi, si une augmentation de la production porcine était justifiée, paradoxalement, même les impacts globaux causés par le phosphore pourraient être maintenus, voire amplifiés (et également par les effets nuisibles de l'azote) par l'accroissement des volumes d'épandage sur les superficies de terre consacrées à cet usage. Ainsi, l'augmentation de la production conduirait à accroître l'utilisation de grandes quantités d'eau tout en exacerbant les impacts des effluents

organiques et des agents pathogènes sur la qualité de l'eau, alors que les impacts sur l'air (ammoniacque, odeur, poussière, microorganismes, gaz à effet de serre) et sur les sols (métaux lourds, agents pathogènes) pourraient être également amplifiés durant tout le cycle de vie des produits découlant de la production porcine (production des aliments pour les porcs, production porcine, transformation, emballage, distribution et commercialisation et consommation) (OCDE, 2003).

Du même coup, les impacts sociosanitaires liés à l'exposition, aux nitrates, aux sous-produits de chloration, aux toxines des cyanobactéries, aux odeurs, aux particules respirables et aux microorganismes pathogènes capables de transmettre leur gène de résistance aux antibiotiques (Cole *et al.*, 2000; Horrigan *et al.*, 2002; BAPE, 2003a,b) pourraient être aussi exacerbés, intensifiant les problèmes de voisinage et de tensions sociales (BAPE, 2003). Là encore, si l'introduction de l'Enviropig^{MD} dans les élevages conduisait à limiter les mesures d'atténuation, déjà jugées nettement insuffisantes, les problèmes pourraient être aggravés.

Le bien-être et la santé des porcs n'étant pas en reste, l'augmentation possible des troupeaux pourrait avoir pour effet d'augmenter les incidences pathologiques (SRC, 2001) au risque d'accroître alors certains problèmes largement répandus comme l'épidémie du SDPS qui a décimé près de 2% des porcs québécois en 2005 (La semaine verte, 2006a). Comme un retour de pendule, l'augmentation des incidences pathologiques pourrait conduire à augmenter l'administration d'antibiotiques, déjà constamment administrés à doses sous-thérapeutiques, via la nourriture (NAS, 2002) ou largement utilisés dans le traitement des maladies (Broes et Boutin, 2003), contribuant ainsi à l'évolution de bactéries résistantes capables de survivre dans l'environnement et de transmettre leurs propriétés de résistance aux bactéries humaines (Cole *et al.*, 2000; Horrigan *et al.*, 2002). Ainsi, par l'intensification de la production porcine, légitimée par une diminution de la teneur en phosphore dans les excréments, pratiquement tous les indicateurs d'agriculture durable mentionnés plus tôt pourraient être affectés : fertilité du sol, culture, troupeaux animaux, organismes naturels. L'injection d'importants fonds publics pour la mitigation des impacts et la gestion des maladies porcines souvent épidémiques, émergeant sporadiquement, ne serait guère plus cohérent dans une perspective de développement durable.

Ainsi, non seulement une telle transgénèse du porc ne s'attaque aucunement à la complexité du problème, mais risque fort de contribuer à amplifier le caractère non durable de stratégies d'alimentation et d'élevage déjà pointées du doigt (BAPE, 2003a).

6.2 TRANSFERT GÉNÉTIQUE HORIZONTAL (TGH)

En ce qui a trait au TGH, plusieurs incertitudes ont pu être identifiées. Compte tenu que des quantités massives de lisier sont actuellement épandues sur les cultures, un nombre massif de bactéries se retrouve dans l'environnement. Les risques de TGH dans l'environnement sont-ils accrus par les grandes concentrations de microorganismes contenues dans les lisiers? Sachant que le gène de la phytase provient de la bactérie *E. coli*, une bactérie composant la flore normale des systèmes digestifs animaux et humains, l'homologie des séquences pourrait-elle favoriser un tel transfert? Étant donné que la bactérie *E. coli* se retrouve forcément dans l'eau suite à l'épandage massif du lisier et du ruissellement dans les cours d'eau et que la transformation d'*E. coli* peut se produire en milieu aqueux (Baur *et al.*, 1996), est-ce que le transgène pourrait se transmettre ainsi aux algues contenues dans l'eau? L'eutrophisation serait-elle favorisée sachant que la présence de phosphore contribue à la prolifération algale? Et si les bactéries intestinales des animaux dans la nature ou les animaux de ferme acquéraient le transgène, favorisant la digestion des molécules de phytate contenues dans les plantes, cela pourrait-il influencer leur taux de croissance donnant lieu à certains déséquilibres écologiques ou à d'autres problèmes de santé?

Les risques de TGH affectant la santé humaine ne peuvent actuellement être prédits compte tenu de connaissances insuffisantes quant à l'éventualité que survienne un tel et quant à la nature des impacts. En d'autres mots, nous ne pouvons prédire si de l'ADN étranger peut être capté par les bactéries du système digestif ou par les cellules humaines et donc encore moins prédire quelles en seraient les conséquences.

Le gouvernement canadien, en l'occurrence l'ACIA, semble toutefois conscient de l'existence de risque de TGH chez les animaux dérivés des biotechnologies (*biotechnology-derived animals*; voir Appendice J). Logiquement, cela devrait conduire les autorités

publiques à exiger des travaux de recherche et de contre-expertise afin d'évaluer avec précision la nature et l'ampleur de tels risques. Les exigences de protection de l'environnement et de la santé assumées par les instances canadiennes devraient les conduire à tout mettre en œuvre pour éviter d'éventuels impacts irréversibles sur les écosystèmes d'une prolifération de la pollution génétique.

6.3 INCERTITUDES SCIENTIFIQUES QUANT AU POTENTIEL DES RISQUES SOCIO-SANITAIRES

En l'absence d'exigences de recherches indépendantes et de travaux de contre-expertise sur les impacts possiblement nocifs de la transgénèse animale sur la santé humaine les pouvoirs publics canadiens ne peuvent évaluer parfaitement les impacts sanitaires de l'introduction éventuelles de tels porcs transgéniques hypophosphoriques. Comment comprendre une telle absence d'exigences de données scientifiques validées relatifs aux impacts socio-sanitaires des OGM végétaux sur la santé animale et humaine et relatifs aux impacts socio-sanitaires de l'introduction d'animaux transgéniques (Pryme et Lembcke, 2003; Séralini, 2003)? Ainsi, non seulement les impacts de la consommation et/ou de l'exposition à l'Enviropig^{MD} ne peuvent être prédits avec certitude, mais on ignore si la qualité nutritionnelle de la viande est altérée, si sa consommation peut être toxique ou si elle peut déclencher une réaction allergique. Pour l'instant, ces questions demeurent sans réponse et l'innocuité du porc transgénique ne peut être prétendue en affirmant simplement que l'animal est en santé, comme le font notamment les promoteurs (Forsberg *et al.*, 2005b : 441).

6.4 L'ÉQUIVALENCE SUBSTANTIELLE : UN CONCEPT CRITIQUÉ

Castel *et al.* (2006) affirment que Santé Canada a confirmé que les directives et les exigences pour l'évaluation de la sécurité alimentaire des animaux transgéniques seront similaires à celles développées pour les plantes, les produits des plantes et les microorganismes (*Règlement des aliments nouveaux*), avec certaines considérations pour les différences physiologiques, tout en estimant que ce cadre d'évaluation réglementaire de l'Enviropig^{MD} n'est pas optimal. En effet, toujours selon Castel *et al.* (2006), plusieurs

sections sont non applicables alors que des enjeux spécifiques aux animaux transgéniques sont manquants.

En ce qui concerne l'évaluation de la sécurité alimentaire des produits transgéniques, c'est «[l]a mise en place conceptuelle et pratique de l'équivalence substantielle [qui] constitue [...] l'élément le plus critique du processus actuel d'approbation.» (SRC, 2001) Principe développé initialement par l'OCDE (1993), un organisme international ayant une vocation d'abord économique, celui-ci est utilisé par les gouvernements états-unien et canadien⁵⁵. Cette approche d'évaluation par produit, plutôt que par processus telle que pratiquée en Europe aux fins d'évaluation, vise à comparer le nouveau produit à un aliment traditionnel analogue, mais elle demeure fortement contestée par la Société royale du Canada (SRC), par bon nombre de scientifiques et par la communauté internationale. En 2001, la SRC affirmait même que la preuve d'une telle équivalence chez les plantes conférerait une approbation presque assurée au sein de l'arbre décisionnel canadien, ce qui serait à l'origine du fait, selon Clark (2002) et Séralini (2003) que 70% des OGM autorisés au Canada n'ont pas été soumis à des tests de toxicité. L'équivalence substantielle n'est pas, aux yeux de plusieurs, un outil pour l'évaluation de la sécurité, mais aiderait plutôt à identifier les similarités et les différences entre un produit transgénique et conventionnel, sans caractériser le potentiel d'effets néfastes d'aliments transgéniques (Liu-Stratton *et al.*, 2004). Aujourd'hui traduit en termes d'«évaluation comparative» par les autorités canadiennes, le recours à l'approche d'équivalence en substance, soi-disant développée et raffinée, reste toujours la stratégie préconisée pour évaluer la sécurité alimentaire des animaux transgéniques tel que prescrit par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en 2003 (cité dans Kocchar et Evans, 2007).

Ce concept d'équivalence substantielle a engendré le développement de diverses techniques de profilage génomique, protéomique et métabolomique susceptibles de fournir

⁵⁵ Santé Canada (1994) définit l'équivalence substantielle comme étant «une comparaison des caractéristiques moléculaires et de la composition et des propriétés toxicologiques et nutritionnelles de l'organisme modifié à celle d'un organisme existant.» La comparaison est effectuée entre l'aliment nouveau et sa contrepartie non modifiée ayant des antécédents d'utilisation sûre en tant qu'aliment.

des groupes de données utilisées dans ces études. Pourtant, le National Academy of Sciences (2004) et Houdebine (2004) affirment que dans la plupart des cas, ces procédures d'analyse sont loin de représenter un idéal analytique. En plus d'être mal maîtrisés et peu fiables (Houdebine, 2004), les trois outils sont insuffisants pour prédire les nombreuses interactions de l'ensemble des constituants présents (SRC, 2001), ce qui met en doute la valeur de l'information à l'effet que, la viande de l'Enviropig^{MD} rencontrant les standards nutritionnels et de composition (Castel *et al.*, 2006; tableau 5.4), serait sécuritaire pour la consommation. Houdebine (2004) décrit très bien les difficultés du profilage moléculaire :

la moindre variation des conditions physiologiques dans lesquelles sont maintenus les organismes vivants se traduit rapidement par la variation de nombreux paramètres cellulaires. Les modifications du transcriptome, du protéome et du métabolome d'un OGM par rapport à l'organisme d'origine n'ont pas forcément de signification en termes de biosécurité. L'interprétation de ces variations peut exiger des études longues, complexes et incertaines [...] (Houdebine, 2004).

Donc, les outils d'analyses nutritionnelles/compositionnelles comparatives des aliments transgéniques, en plus d'être basés sur un concept fortement critiqué, ne sont pas assez développés pour pouvoir mettre en évidence des changements significatifs permettant de démontrer l'innocuité du produit. Sachant que «[d]eux protéines ayant la même composition peuvent avoir, du fait de leur forme, des toxicités totalement différentes» (Séralini, 2003), il serait périlleux d'affirmer, sur la base d'une équivalence en substance d'un produit transgénique, que celui-ci soit sécuritaire aux fins de consommation humaine.

Quant à la possibilité de développer des allergies, suite à l'exposition aux porcs transgéniques ou à des produits dérivés, cela représente un certain niveau de risque qui demeure pour l'instant impossible à mesurer. En effet, le concept ou l'approche d'équivalence en substance, préconisé par le gouvernement canadien dans l'évaluation des risques, ne permet pas d'établir l'allergénicité des produits protéiques dû à l'absence de profilage et de criblage métabolique fiable (Castel *et al.*, 2006). Lorsque le gène codant pour la protéine étrangère provient d'un organisme donneur dont le potentiel est soit indéterminé, soit inconnu, le processus est à la fois indirect et non spécifique (SRC, 2001). De plus, il

n'existe aucun modèle animal aux fins de tests *in vivo* capables de prédire l'allergénicité d'une nouvelle protéine puisque aucun ne répond de manière similaire à l'humain (SRC, 2001; Denault, 2005). Faisant fi de ces contraintes, certains membres de l'équipe de concepteurs tentent actuellement de développer des méthodes de détection d'allergènes grâce à l'identification de biomarqueurs (Husain *et al.*, 2006).

Ainsi, il est actuellement impossible de prédire si la consommation de ces porcs transgéniques, dont la viande contiendrait des traces de phytase due à l'expression ectopique du transgène, pourrait entraîner une réaction allergique. Les divers problèmes de santé développés par des travailleurs d'usine de production d'enzyme phytase (fongique) (Baur *et al.*, 2002) soulèvent de nombreuses questions quant à l'innocuité de ce porc transgénique qui méritent d'être approfondies. Dans la mesure où l'humain est atopique à l'enzyme phytase d'origine fongique, l'exposition à la phytase salivaire de porcs transgéniques, contenant de grandes quantités d'enzyme phytase, pourrait-elle déclencher une forme de réaction allergique? Le mode d'évaluation centré sur l'équivalence en substance empêche l'analyse rigoureuse et la mise en évidence d'un tel risque, ce qui interroge sérieusement la façon même dont les instances publiques s'acquittent de leurs responsabilités en matière d'évaluation et de protection de la santé.

6.5 IMPACTS DIRECTS ET INDIRECTS POTENTIELS DE LA TRANSGÉNÈSE ANIMALE

En ce qui a trait aux risques pour la santé et le bien-être des animaux, les connaissances solides sur les conséquences des nouvelles biotechnologies étant généralement manquantes, soulignaient déjà Kruip et Van Reenen en 2000, encore aujourd'hui, l'incertitude demeure sans équivoque. Une telle évaluation du risque est d'autant plus complexe qu'on ignore encore les mécanismes d'intégration de l'ADN étranger, les problèmes pouvant découler de la mutagenèse insertionnelle ou de l'effet de position de même que les interactions, découlant de la transgénèse, susceptibles de se produire au niveau des réactions métaboliques, (Séralini, 2003; Houdebine, 2004). Pour le moment, les études dédiées aux questions d'évaluation de la santé animale suite à des modifications génétiques se comptent sur les doigts d'une seule main. Les travaux de Van Reenen *et al.* (2001) figurent

parmi les rares publications où des modalités d'évaluations des impacts de la transgénèse sur la santé animale sont décrites. Au Canada, l'ACIA (2004), responsable en la matière, y fait référence dans son *Cadre d'évaluation des risques zoosanitaires pour les animaux issus de la biotechnologie*.

Quant au dossier de l'Enviropig^{MD}, rappelons que plus le nombre de copies du transgène intégré est élevé, plus les perturbations pourraient être importantes étant donné que chaque insertion génétique peut à elle seule influencer et altérer les fonctions génétiques et épigénétiques. Or, dans le cas de l'Enviropig^{MD}, le nombre de copies du transgène intégrées dans les trois lignées étudiées par l'équipe est de 2 copies dans le cas de la lignée Jacques et 35 dans le cas de la lignée Wayne, alors que ce nombre n'a pas été divulgué dans le cas de la lignée Gordie.

Cette nouvelle unicité génétique de chaque animal transgénique devrait conduire à évaluer chaque individu transgénique. En effet, les observations menées sur un individu, ou un groupe d'individus affiliés, ne peuvent être généralisées d'un individu, d'une lignée et même d'une génération à l'autre parce que la transmission mendélienne du transgène ne peut être garantie, du moins en ce qui concerne l'Enviropig^{MD}, bien que le clonage pourrait résoudre en partie ce problème tout en risquant d'en provoquer d'autres. En plus, des phénomènes de *silencing* du transgène, occasionnés notamment par la méthylation du transgène, peuvent «éteindre» le trait génétique ou être responsables de changements d'activité du transgène pour des raisons encore inconnues (Lewin, 1999). Il se pourrait donc que des gènes actifs chez des parents transgéniques subissent une délétion ou soient amplifiés chez les descendants (*ibid.*). Aussi, les transgènes pourraient se voir déplacer à travers le patrimoine génétique par le biais de transposons. Ainsi, dépendamment des endroits où les transgènes peuvent être déplacés, cela pourrait perturber, bien après la création du fondateur génétique, des fonctions génétiques et épigénétiques pouvant donner lieu à une panoplie de scénarios possible allant de la disparition du transgène, à sa surexpression, en passant par l'altération de fonctions génétiques et épigénétiques endogènes, ce qui peut, en bout de ligne, entraîner des impacts sur la santé animale dépendamment du ou des traits phénotypiques touchés.

Sur le plan des différences d'expression génétique et de l'activité de la phytase, les nombreuses variations, selon l'âge, la position du transgène dans le patrimoine génétique, l'âge des individus, le sexe et les lignées témoignent manifestement soit de lacunes dans leurs interventions ou soit d'une certaine instabilité génétique encore mal comprise. Comment les promoteurs de l'Enviropig^{MD} prévoient-ils stabiliser ces variations et contrôler une expression génétique stable une fois sur le terrain? Pour l'instant, ces questions demeurent sans réponse...

L'expression ectopique du transgène, ailleurs que dans les glandes salivaires, si faible soit-elle, en plus de représenter un risque pour la santé humaine, pourrait aussi être nocive, voire toxique pour les porcs transgéniques hypophosphoriques. C'est que la protéine recombinante, ici l'enzyme phytase, si elle se retrouve ailleurs que dans le tissu ou l'organe ciblé par la construction génétique, peut exposer l'hôte à des protéines dites «biologiquement actives» qui pourraient notamment perturber l'homéostasie (Van Reenen *et al.*, 2001). Les promoteurs de l'Enviropig^{MD} disent avoir procédé à un examen morphologique grossier, à des analyses histologiques et à des tests hématologiques et biochimiques, mais ces travaux n'ont été soumis à aucune contre-expertise. Ces seuls tests, ignorant l'ensemble des dangers génotypiques et phénotypiques liés aux biotechnologies puisqu'ils sont inconnus (ACIA, 2004), des éléments révélateurs d'une perturbation pouvant entraîner de subtils problèmes pourraient ne pas être identifiés. Dans ce contexte d'incertitudes, les changements génotypiques d'une génération à l'autre ne pouvant pas être écartés, de tels tests menés sur une seule génération ne pourraient être généralisables d'une génération à l'autre.

La biodiversité des cheptels animaux étant faible (SRC, 2001), ce problème pourrait s'amplifier si la fondation de cheptels porcins transgéniques était réalisée à partir de seulement quelques individus transgéniques homozygotes, provenant des trois des lignées fondatrices les plus efficaces, que les chercheurs ont nommées Jacques (JA), Wayne (WA) et Gordie (Go) (Phillips *et al.*, 2002; Forsberg *et al.*, 2005a). Les scientifiques qui ont mis au point l'Enviropig^{MD} prévoyant peut-être propager leur invention en ayant recours au croisement d'un porc transgénique homozygote avec un porc non transgénique (Forsberg *et al.*, 2005a), l'appauvrissement génétique susceptible d'en résulter pourrait réduire la

variabilité et la diversité génétique des animaux au risque d'accroître la vulnérabilité de ces animaux aux maladies (NAS, 2002). Est-ce que la sélection génétique des animaux serait ensuite basée sur des paramètres sélectionnés, visant essentiellement à accroître le prix de vente et des caractéristiques de coupes de viande (poids, surface désirée pour l'œil de la longe, persillage, couleur, fermeté du gras et épaisseur du flanc (Gauthier, 1999)) au détriment de la santé des animaux et de leur diversité génétique?

L'hypothèse que nous avons soulevée, selon laquelle l'Enviropig^{MD} serait sujet à absorber une quantité excessive de phosphore ne doit pas, à notre sens, être pris à la légère. En effet, le fait que les porcs transgéniques hypophosphoriques produisent environ 100 000 à 200 000 U de phytase par kilogramme de nourriture, contrairement à environ 500 à 1 500 U qui sont normalement ajoutés manuellement par kilogramme de nourriture (Golovan *et al.*, 2001a, b), soit une concentration environ 150 fois supérieure (si on compare la moyenne de concentration enzymatique produite par l'Enviropig^{MD} et celle que l'on ajoute manuellement), est pour le moins inquiétant. Peut-on croire en effet qu'une transformation de cet ordre de puissance n'ait aucun impact sur la santé animale et plus spécifiquement par rapport à une augmentation de l'absorption du phosphore? Surtout pour les individus homozygotes, conçus pour la propagation du transgène, voyant l'activité enzymatique de la phytase substantiellement supérieure par rapport aux individus hétérozygotes (Phillips *et al.*, 2002), ceci pourrait-il exacerber certains problèmes de santé évoqués précédemment et amplifier les risques d'impacts sur la santé humaine? Pour l'instant, à notre connaissance, l'absence d'étude menée en ce sens ne permet pas de prévoir les impacts sur la santé animale, et humaine dans une perspective de santé animale et *a fortiori*, de santé publique; cela est difficilement défendable vu l'éventualité de mise en marché d'un tel porc transgénique hypophosphorique.

Par ailleurs, lorsque certains auteurs affirment que l'Enviropig^{MD} n'est pas plus susceptible que des porcs non transgéniques aux maladies (Maus, 2004), cela doit être évalué dans les conditions d'élevage réelles puisque les mécanismes d'adaptation de l'Enviropig^{MD} à leur milieu physique et social peuvent avoir été compromis (SRC, 2001). Les conditions des élevages intensifs (confinement, sevrage précoce, élevage sur béton sans litière, modification

des groupes sociaux, augmentation du nombre de cycle reproductif par unité de temps, pollution de l'air, etc. (CIWF, 2002; Arey et Brooke, 2006)) sont complètement différentes de celles des animaleries des laboratoires. On ne saurait donc prédire comment se comporteraient ces porcs transgéniques dans les installations d'élevage intensives stressantes pour les animaux. L'exemple récent des pertes d'animaux et des coûts exorbitants associés au SDPS ainsi que les recommandations de François Madec visant à restaurer des conditions d'élevage moins stressantes pour les animaux afin de limiter les effets d'un tel syndrome (Vandelac et Beaudoin, 2007) devraient inciter à la plus grande prudence et exiger des études indépendantes concluantes.

Bien que le clonage ne fasse pas partie directement de l'étude de cas, l'approbation récente par la FDA (2006) de la commercialisation de viande clonée et non étiquetée exige de se pencher sur cette éventualité. Cette stratégie de reproduction des porcs transgéniques visant à assurer la transmission du transgène entre les individus est, à son tour, susceptible d'entraîner d'autres risques susceptibles de s'ajouter à ceux de la transgénèse. En effet, les expérimentations en clonage, révélatrices d'effets néfastes chez les animaux transgéniques ou non, tels les hauts taux de mortalité péri-natale accompagnés souvent de déformations diverses et de poids élevé, ne sont pas sans danger et doivent faire l'objet d'examen approfondis et de travaux de contre-expertise indépendante dans un tel contexte de commercialisation.

Le dernier élément d'incertitude majeur, lié à la santé animale, tient aux divers effets de cumul et d'interactions de la sélection génétique à laquelle s'ajouteraient la transgénèse et le clonage des animaux, autant d'éléments susceptibles d'être amplifiés les uns par les autres. Le recours accru à la sélection génétique au cours des 50 dernières années, visant à accroître la productivité par unité animale, est une caractéristique clé des élevages intensifs. Or, les effets de ces sélections sur le génotype et le phénotype peuvent affecter le bien-être et la santé animale (D'Silva, 2006; Arey et Brooke, 2006). Chez les porcs, il est par exemple reconnu que, dû à la présence d'un gène récessif, appelé gène halothane, ceux-ci peuvent souffrir du syndrome du stress porcin, ce qui augmente le degré d'excitabilité pouvant, dans certains cas, entraîner la mort (CDPQ, s.d.; CIWF, 2002; Dion, 2002). Peut-on croire que

d'éventuels problèmes associés à la transgénèse pourraient être exacerbés par ceux de la sélection artificielle?

Ainsi, outre les impacts directs du transgène, ce sont les risques indirects sur la santé animale, notamment par le biais de l'appauvrissement potentiel de la biodiversité des animaux, par une surabsorption de phosphore et par l'altération de certains mécanismes d'adaptation et de résilience, qui pourraient menacer les troupeaux d'animaux domestiques soumis aux conséquences multiples de la transgénèse.

6.6 PROTOCOLES D'ÉVALUATION DE LA SANTÉ DES ANIMAUX TRANSGÉNIQUES

Au sein de l'appareil public canadien, certaines orientations quant à l'évaluation des risques zoonosaires se dessinent. Soit-disant plus complexe que celle déjà réalisée sur les cultures transgéniques due à l'émergence de nouveaux risques, cette évaluation prévoit par exemple accorder une attention particulière aux différentes générations produites, à leur état homozygote ou hétérozygote et réaliser des évaluations au cas par cas (Kocchar et Evans, 2007). Toutefois, comme l'affirme l'ACIA (2004), l'évaluation du bien-être et de la santé animale devrait être réalisée de manière compréhensive, systématique et multidisciplinaire, en faisant intervenir de nombreux paramètres (micro-conséquences du génie génétique; biologie/ physiologie/ macro-complexité de l'écologie, génétique des populations, comportement, biogéographie, biologie évolutionnaire (ACIA, 2004) sans négliger l'examen éthique de ces questions (NAS, 2002), ni l'examen des enjeux socioculturels. Or, le nombre d'études dédiées à ces questions demeure minime et les études comportementales sont quasi absentes (Kruip et Van Reenen, 2000; Van Reenen *et al.*, 2001; NAS, 2002), ce qui risque de conduire à des jugements biaisés, basés sur des données extrapolées d'études similaires impliquant d'autres modifications génétiques, chez d'autres espèces (Moreau et Jordan, 2005; Kocchar et Evans, 2007).

Plus encore, c'est en raison des incertitudes scientifiques et du manque de connaissance à l'égard des effets des biotechnologies sur la santé animale que l'ACIA propose d'estimer les risques par le biais d'études qualitatives et semi-quantitatives (Moreau

et Jordan, 2005) révélant dès lors leurs difficultés à évaluer les risques zoonosaires. Mais est-ce sécuritaire de remplacer des études quantitatives, par des études qualitatives sur la base du fait que les connaissances ne permettent pas actuellement de telles mesures?

La SRC semble d'ailleurs être consciente que les difficultés rencontrées lors des évaluations sont, en partie, causées par «leur complexité biologique, le temps de leur développement[,] notre capacité restreinte de sélectionner les caractères désirables [et] l'absence d'uniformité de réponse parmi les animaux transgéniques au stade actuel du développement de la technologie.» (SRC, 2001). Dans un tel contexte de connaissances lacunaires des impacts de la transgénèse sur le bien-être ainsi que sur la santé animale, les protocoles actuels d'évaluation ne sauraient être suffisants pour déterminer le niveau de risque réel.

Pour conclure cette section, voici comment l'ACIA perçoit l'évolution des connaissances dans ce domaine et ses effets sur la résolution des problèmes découlant des biotechnologies.

The continued growth of the body of knowledge will reduce the uncertainties that now exist, and new techniques and further experience will improve methods of risk management. Conversely, future research and new techniques will perhaps identify additional problems for the risk analyst to deal with – as old issues become resolved, new ones will emerge (Moreau et Jordan, 2005 : 58).

6.7 RÉGLEMENTATION ET POLITIQUES PUBLIQUES

La réglementation portant sur les animaux issus de la biotechnologie ou de leurs produits relève du gouvernement du Canada, bien que les provinces aient le pouvoir d'adopter certaines lois quant à l'alimentation, la santé publique et l'environnement à condition que celles-ci soient plus exigeantes (CEST, 2003). Sommairement, Environnement Canada et Santé Canada sont tous les deux responsables des évaluations de sécurité environnementale, Santé Canada est responsable de la sécurité alimentaire alors que l'ACIA est responsable de la santé animale et du resserrement des mesures réglementaires en ce qui a

trait à la production d'animaux, non seulement transgéniques, mais issus de la biotechnologie en général, la transgénèse faisant partie intégrante de cette science.

Toutefois, le contexte réglementaire dans lequel l'Enviropig^{MD} s'apprête à faire son entrée n'est aucunement prêt à répondre aux nombreuses questions soulevées par la nouvelle technologie qu'est la transgénèse (Castel *et al.*, 2006) et le gouvernement canadien demande à quiconque de s'abstenir de soumettre un avis sur les aliments nouveaux (incluant les animaux transgéniques et clonés) (ACIA, 2007). Les chercheurs Sirard et Pothier (2005-2006), deux acteurs clés de la transgénèse animale au Québec, affirment même que «le climat ambiant n'est pas favorable à une véritable prise de décision au sujet de la transgénèse» et que le «statu quo perdure depuis plus de dix ans». Isaac et Hobbs (2002) ont quant à eux fortement critiqué les mandats octroyés au Comité consultatif canadien de la biotechnologie (CCCB), à la SRC et à l'Office des normes générales du Canada (ONGC) pour soi-disant, «garantir l'analyse approfondie des politiques gouvernementales constituant l'approche réglementaire canadienne dans son ensemble», les considérant nettement insuffisants. Selon eux, «[c]e qui est remarquable, c'est qu'aucune de ces analyses n'a vraiment examiné le profil risques-avantages à la base de l'approche réglementaire canadienne.»

En outre, non seulement le système de réglementation canadien ne contient aucun dispositif prévoyant la participation du public pendant le déroulement du processus d'évaluation des risques menant à une décision réglementaire (CCCB, 2001), mais plus fondamental encore, aucune évaluation stratégique n'a d'abord été menée (Vandelac, 2006c). L'ACIA semble même considérer l'acceptabilité ou non du public et les effets sur les marchés commerciaux comme une conséquence de l'exposition aux risques (Kocchar et Evans, 2007). Comment alors espérer que le public ait confiance envers le gouvernement canadien déjà fort critiqué pour son manque d'indépendance et de transparence, et pour la non-accessibilité aux données de la part des citoyens (CST, 2002; Séralini, 2003). Le nombre d'agences gouvernementales et les multiples statuts pouvant aussi entraver la clarté des standards scientifiques, les données requises et les approches analytiques, le public aura de la difficulté à comprendre, évaluer et ultimement, gagner confiance dans les décisions gouvernementales (NAS, 2002).

De plus, bien que l'incertitude scientifique soit une caractéristique commune de la prise de décision réglementaire et surtout de l'évaluation des risques (SRC, 2001; NAS, 2002), la SRC affirmait, dès 2001, que les scientifiques responsables de la réglementation n'ont souvent ni les ressources, ni le temps nécessaire pour réduire le niveau d'incertitude et éliminer les «inconnus théoriques» (SRC, 2001). L'absence, virtuellement parlant, de subventions accordées par le gouvernement canadien pour les questions de sécurité humaine et environnementale, ce qui relève d'un choix politique, ne permettrait guère, selon Clark (2002) de réduire ces incertitudes scientifiques. En outre, plus de 450 000 dollars canadiens ont été octroyés au Dr. Forsberg, un des principaux instigateurs de l'Enviropig^{MD}, pour l'évaluation et l'identification des risques des nouveaux produits animaux et végétaux (D'Amato, 2001; Maus, 2004; Canadian University Press, 2006), ce qui n'est pas sans soulever des questions de conflit d'intérêts ou du moins d'apparence de conflits d'intérêt. Des membres de l'équipe de recherche ont également participé aux trois dernières consultations (1998, 2003, 2004) sur la définition d'un cadre réglementaire pour les animaux transgéniques au Canada⁵⁶, ce qui incite à se demander si les pouvoirs publics ne contribuent pas à exacerber ces conflits d'intérêts.

Ajoutons que des études ont aussi été menées sur la détection du transgène de l'Enviropig^{MD} dans des carcasses compostées (Murray *et al.*, 2007). Comment expliquer qu'on ait autorisé de telles études alors que les porcs transgéniques sont considérés comme des déchets biomédicaux qui ne doivent en aucun cas se retrouver en dehors des laboratoires?

En outre, comment expliquer de telles études quand le compostage de porc non transgénique est illégal dans certaines provinces canadiennes, et notamment au Québec (BAPE, 2003b).

Au sujet du cadre réglementaire des animaux transgéniques, et des applications de la biotechnologie en général, le Gouvernement du Canada, répondant à la pétition *Lois*,

⁵⁶ Les détails des consultations étaient disponibles en date du 13-06-2006 sur le site de l'ACIA, mais ne sont désormais plus accessibles depuis que des modifications au contenu du site ont été apportées.

règlements et politiques du gouvernement fédéral sur les organismes génétiquement modifiés (OGM) du Sierra Legal Defence Fund, affirmait

que l'utilisation des lois existantes, qui dans certains cas protègent efficacement l'environnement et la santé des Canadiens depuis plus d'un siècle, est judicieuse et comporte un certain nombre d'avantages par rapport à la rédaction d'une toute nouvelle législation pour tenir compte de progrès technologiques tels que les nouvelles techniques de la biotechnologie (Gouvernement du Canada, 2000).

Or, à la lumière de tous les risques potentiels identifiés et des lacunes en regard de l'évaluation de tels risques, comment ne pas s'étonner devant une telle assertion et comment ne pas revoir profondément les politiques publiques compte tenu de l'absence de prise en compte adéquate de nouveaux enjeux difficilement couverts par le cadre réglementaire actuel?

Bref, ce cadre réglementaire canadien mérite d'être sérieusement revu pour être en mesure d'évaluer rigoureusement la transgénèse animale, dans le respect du principe de précaution et des politiques de développement durable, dont se réclament les différents paliers de gouvernement. En ce sens, ce réexamen devrait inclure, dans un premier temps une évaluation stratégique de la transgénèse animale permettant de poser la question du bien-fondé du recours à la transgénèse pour la production d'animaux d'élevage. En effet, n'importe-t-il pas d'entreprendre un véritable travail d'évaluation en amont de l'introduction d'animaux transgéniques tout en considérant l'ensemble des enjeux d'un tel modèle d'élevage et plus globalement d'une approche viable de l'agriculture

CONCLUSION

Agriculture durable et transgénèse animale

Notre question de recherche était de savoir si la transgénèse était compatible avec une agriculture durable. Cette question s'est avérée être très difficile à circonscrire. D'abord parce que les conceptions du développement durable, dont le rapport Brundtland jeta les bases en 1988, donnent lieu, selon les intérêts en jeu, à diverses interprétations. Le concept d'agriculture durable souffre également d'interprétations diverses. Quant à la transgénèse, apparue au début des années 80, elle est l'objet de profonds débats relatifs à deux conceptions fort divergentes du fonctionnement génétique. Selon la conception réductionniste, où un gène correspondrait à une protéine et donc à une fonction, celle-ci réduit à sa plus simple expression l'idée du fonctionnement génétique qui, selon des chercheurs plus près d'une conception écosystémique, affirment que les gènes interagiraient dans un réel écosystème génétique, protéomique et métabolomique où des effets multiples, d'action, de rétroaction, d'inhibition, etc., peuvent se produire. Ainsi, le fonctionnement génétique serait en fait un système d'interrelations complexes et difficilement prévisible et où des effets épigénétiques joueraient un rôle crucial dans l'hérédité et dans l'expression génétique.

C'est dans ce contexte de flou conceptuel relatif, clarifié au fil de nos travaux, que nous avons examiné le cas de l'Enviropig^{MD} pour savoir si une telle transgénèse animale pouvait être compatible avec une production porcine durable et donc une agriculture durable parce qu'ils sont, ne l'oublions pas, liés : les animaux consomment les cultures alors que les déjections animales servent d'engrais. Nous avons donc étudié le cas du porc transgénique hypophosphorique, dans le cadre de la production porcine au Québec caractérisée par un contexte de crise très complexe. Cet examen de la filière porcine s'est fait à travers les trois composantes clés du triptyque du développement durable, à savoir l'environnement, l'économique et le social. Notre analyse de l'adoption éventuelle d'un tel porc transgénique hypophosphorique dans nos pratiques d'élevage nous a amenés à conclure qu'une telle stratégie serait non durable. Pourquoi? Certes, en raison du maintien et même de

l'intensification possible de la production, légitimée par une diminution des rejets de phosphore pour chacune des bêtes transgéniques incitant alors à en augmenter le nombre, mais aussi à cause des risques connus et potentiels découlant de la transgénèse.

Au-delà des dimensions techniques de la transgénèse animale, c'est surtout la façon de poser la question qui nous semble problématique. Ainsi, la justification même de créer un tel porc transgénique hypophosphorique semble relever d'une double approche réductionniste : celle selon laquelle le problème résiderait dans les surplus de phosphore, sans questionner les facteurs qui en sont à l'origine (ajouts de phosphore inorganique et de phosphore alimentaire indigeste pour accélérer la croissance des bêtes) et celle d'une conception réductrice du fonctionnement génétique, où, comme le souligne Séralini (2000, 2004), un gène correspondrait à une protéine et donc à une seule fonction...

Principaux résultats

Premièrement, comme nous l'avons déjà souligné, on pourrait penser que les créateurs de l'Enviropig^{MD} semblent croire que ce ne sont pas les façons de produire qui posent problème, mais bien le contenu en phosphore du lisier de porc. Or, dans le contexte de crise qui sévit dans la production porcine intensive, non seulement au Québec, mais ailleurs au Canada et notamment en Ontario, province dans laquelle l'Enviropig^{MD} a été créé, une telle lecture nous semble pour le moins étroite, voire naïve. Les prétentions environnementales mises de l'avant par les créateurs de l'Enviropig^{MD} affirment que ce porc transgénique pourrait contribuer à la durabilité de la production porcine, estimant que leur invention contribuera à faciliter le respect des normes environnementales, tout en maintenant, voire en augmentant les cheptels. Cependant, ceux-ci ne s'interrogent guère sur ces normes environnementales qui se concentrent essentiellement sur la teneur phosphorique des excréments. Pourtant, si les normes environnementales restent les mêmes, comment éviter que les bénéfices d'une réduction de la teneur en phosphore par tête de porc ne soient annulés par l'augmentation du nombre de têtes de porc ou par celle du nombre d'entreprises? Outre les surplus de phosphore épandus sur les cultures de maïs, on sait pourtant que ce sont l'eau, l'air, le sol, la biodiversité, la santé des populations et la santé animale qui sont affectés par

l'ensemble des polluants diffusés par la production porcine intensive et ce, à toutes les étapes du cycle de vie.

L'adoption du porc transgénique hypophosphorique dans les élevages québécois pourrait donc exacerber l'ensemble des impacts environnementaux, sociosanitaires et zoosanitaires déjà existants: eutrophisation, pollution et exploitation des plans d'eau, odeurs, poussières, production de GES, déboisement et désertification agricole, appauvrissement des sols, monocultures de maïs-grain et notamment de maïs-grain OGM, épandages de pesticides, contamination des plans d'eau, émergence d'épidémies dans les cheptels, résistance bactérienne aux antibiotiques, appauvrissement de la biodiversité, problèmes de voisinage, etc.

Quelle démarche les créateurs de l'Enviropig^{MD} ont-ils suivie pour affirmer que leur invention pourrait contribuer au développement durable de l'agriculture? Nulle part dans leurs écrits n'avons-nous pu identifier une quelconque définition voire allusion aux caractéristiques d'une agriculture durable. Se sont-ils préalablement penchés sur les différentes conceptions d'un développement durable? À quelles conceptions adhèrent-ils? En outre, les nombreux impacts de la production porcine industrielle ne sont pratiquement jamais discutés parmi les publications des concepteurs de l'Enviropig^{MD}. Peut-être que l'intégration de paramètres sociaux, sociosanitaires, zoosanitaires et environnementaux aurait changé l'issue de leur modèle de simulation NMAN⁵⁷? Bref, le label Enviropig^{MD} semble avoir surtout une visée commerciale...

En outre, si le porc transgénique sert à légitimer le maintien ou l'accroissement de la production, il appert que la commercialisation de porcs transgéniques hypophosphoriques dans nos pratiques d'élevage ne saurait s'inscrire dans une réelle politique de développement durable, car les impacts environnementaux, sociosanitaires, zoosanitaires et même économiques seraient maintenus voire exacerbés.

⁵⁷ Ce modèle démontre la possibilité de pouvoir diminuer les surfaces d'épandage de lisier en raison d'une diminution en contenu phosphorique.

Deuxièmement, la vision réductionniste du fonctionnement génétique, si largement partagée par nombre de biologistes moléculaires, pose également problème dans une perspective d'agriculture durable. En omettant de considérer les effets épigénétiques ainsi que le fonctionnement des gènes et des produits génétiques en réseaux, cette approche n'accorde aucune importance aux impacts en cascades d'une insertion génétique au hasard. Or, cela risque fort de se répercuter sur l'évaluation des risques que représentent les animaux transgéniques à visées alimentaires, évaluation réductrice et de surcroît souvent réalisée par des scientifiques partageant ce même genre d'approche.

Outre le maintien voire l'exacerbation des problèmes environnementaux découlant de la production porcine, certains risques environnementaux peuvent s'ajouter et sont directement liés à la transgénèse, mais ne peuvent toutefois être mesurés. En effet, il est actuellement impossible de prévoir si un transfert génétique horizontal du transgène peut survenir entre les bactéries contenues dans la flore intestinale ou des cellules mêmes du porc transgénique et certains microorganismes présents dans l'environnement. On peut encore moins prédire les conséquences que cela pourrait avoir sur les organismes qui pourraient potentiellement acquérir le transgène. Alors que plusieurs affirment que les risques encourus sont pratiquement nuls, d'autres considèrent ce risque bien réel. Les études en la matière étant insuffisantes et peu développées, on ne pourrait affirmer hors de tout doute qu'il n'y ait aucun danger.

Plusieurs facteurs nous portent à croire que l'incidence d'un tel phénomène pourrait être fortement influencée par les pratiques d'élevage prépondérantes en production porcine comme les énormes volumes de lisier déversés sur les terres qui se retrouvent inmanquablement dans les cours d'eau où l'échange de matériel génétique entre microorganismes est monnaie courante. Aussi, le gène codant la protéine recombinante phytase provenant de la bactérie *E. coli*, dont certains ont même rapportés que l'enzyme recombinante était dix fois plus efficace à métaboliser les molécules de phytate, l'homologie de la séquence avec les génomes des bactéries *E. coli* présentes naturellement dans l'environnement pourraient augmenter ce risque de transfert génétique. Bien que le gène de phytase puisse se retrouver naturellement dans les génomes bactériens, certains

microorganismes, ne le possédant pas *a priori*, pourraient incorporer ce gène. La transformation du génotype et donc, potentiellement, du phénotype pourrait ainsi donner lieu à l'émergence de microorganismes dont les voies de propagation seraient modifiées grâce à l'acquisition de la nouvelle possibilité de métaboliser le phytate, bien que cela ne soit qu'une hypothèse parmi tant d'autres. Sachant que les problèmes d'eutrophisation sont occasionnés par la présence de surplus de phosphore dans les cours d'eau favorisant la prolifération des cyanobactéries, le transfert d'un gène codant pour une enzyme dont l'activité est soi-disant accrue pour métaboliser le phytate, pourrait-il accroître le pouvoir de prolifération des algues bleu-vert? Alors que de graves problèmes d'eutrophisation sont annuellement observés au Québec depuis quelques années, ce type de risque, bien qu'il soit actuellement plus théorique qu'observé empiriquement, ne devrait pas être négligé par les pouvoirs publics responsables de l'élaboration du cadre réglementaire.

Le risque représenté par le TGH du transgène aux humains (ou à la flore intestinale) est loin d'être le seul dans l'éventualité où des animaux transgéniques étaient consommés, mais les autres demeurent tout aussi difficiles à mesurer, voire à identifier. En effet, en dépit de plus de dix ans d'exploitation commerciale d'OGM en agriculture et en dépit d'une forte hausse de leur diffusion, nous avons été frappés par la pauvreté de la littérature traitant des risques sociosanitaires de la consommation d'OGM. Les animaux transgéniques n'ayant pas encore fait l'objet de commercialisation à des fins alimentaires, l'examen des risques pour la santé humaine, recoupant à plusieurs égards ceux des OGM cultivés, n'a donc pas été des plus aisés. Nombreux étaient les ouvrages et les articles relevant de l'opinion et de l'hypothèse qui, la plupart du temps, n'avaient pas fait l'objet d'examen par les pairs.

En outre, c'est la même approche réductionniste qui influence l'évaluation de la transgénèse animale, tout comme c'était le cas avec la transgénèse végétale (Séralini, 2000, 2004). L'approche préconisée au Canada, tout comme aux États-Unis, en matière d'OGM végétaux, s'appuie sur le concept d'équivalence en substance considérant que si l'aliment transgénique est comparable, sur le plan des profils des gènes, des protéines et des métabolites, à un aliment ayant des antécédents d'utilisation sûre, l'innocuité et la valeur nutritionnelle de l'aliment nouveau sont confirmées (CEST, 2003). Seulement, les outils

développés permettent un profilage moléculaire imprécis du génome, du protéome et du métabolome, les rendant inaptes à mettre en évidence certains changements (NAS, 2004), parce qu'étant tous interreliés, ils s'influencent continuellement. En outre, une telle stratégie d'évaluation de l'innocuité des aliments transgéniques pourrait échouer à identifier certains changements inaptes à être révélés par les méthodes de profilage proposé et ainsi, du fait de leur forme, deux protéines qui à première vue sembleraient identiques, pourraient cacher des propriétés complètement différentes. Donc, les outils d'analyses comparatives, des aliments transgéniques, en plus d'être basés sur un concept critiqué, ne sont pas assez développés pour pouvoir mettre en évidence certains changements significatifs qui pourraient notamment entraîner l'émergence de nouveaux allergènes ou d'autres composés biologiquement actifs et ainsi pouvoir confirmer l'innocuité des produits transgéniques.

Le risque de développer des allergies, suite au contact avec l'animal ou suite à une exposition alimentaire, n'est sans doute pas négligeable. Des travailleurs d'usine de fabrication d'enzyme phytase ont en effet déjà développé des allergies à une phytase d'origine fongique en Allemagne (Baur *et al.*, 2002). Ce genre d'information ne doit donc pas être pris à la légère par ceux qui auront à évaluer l'innocuité des porcs transgéniques hypophosphoriques. Ultimement, ce sont les modalités mêmes d'évaluation du potentiel allergène de ces nouveaux produits transgéniques qui devraient être sérieusement questionnées.

Au plan de la santé animale, le problème est également fort complexe notamment parce que ces porcs sont les objets de ces manipulations génétiques et de leurs impacts. Tel que nous l'avons déjà mentionné, les conséquences possibles sont soit directement ou indirectement liées à la présence du transgène, ce qui n'est pas sans compliquer l'évaluation du risque pour la santé animale. Ainsi, l'insertion au hasard d'un ou de plusieurs transgène(s) dans le génome des animaux peut directement influencer les gènes endogènes de l'animal via des effets en cascades faisant intervenir autant l'ADN que les effets épigénétiques, ce qui peut potentiellement se traduire par des effets néfastes chez les animaux transgéniques. Sur le plan des impacts indirects, est-ce que ce porc transgénique peut absorber une trop grande quantité de phosphore? Rappelons que le porc transgénique hypophosphorique produit entre

100 000 et 200 000 U de phytase par kilogramme de nourriture. Est-ce que l'absorption d'un surplus de phosphore pourrait dans ce cas porter atteinte à sa santé? Pour l'instant, ces questions demeurent toujours en suspens.

On ne sait pas non plus comment le porc transgénique se comporterait dans les élevages intensifs et on ignore si la présence du transgène pourrait exacerber d'autres problèmes génétiques déjà existants. Alors que plusieurs problèmes de nature génétique sont déjà observés au sein des cheptels québécois, selon certains, il pourrait être difficile de distinguer les effets de la transgénèse de ceux de la sélection traditionnelle et de la sélection génétique (NAS, 2002).

Chose certaine, la propagation de l'Enviropig^{MD} à travers les élevages risquerait fort d'avoir pour effet d'appauvrir davantage encore la diversité génétique de ces animaux d'élevage, déjà fortement menacée depuis plusieurs années par les tendances productivistes visant à sélectionner les bêtes prétendument les plus performantes. Au moment de déposer ce mémoire, la FAO sommait justement la communauté internationale d'adopter un plan mondial «pour freiner l'érosion des animaux de ferme» (Deglise, 2007). Étant donné que des centaines de races d'animaux domestiques ont d'ores et déjà disparues de la surface de la planète, la FAO estime crucial l'adoption, par les 120 États membres, de politiques afin de réduire notre «dépendance à l'égard d'un petit nombre de races à rendement élevé» dans un contexte où «[l]es changements climatiques et l'émergence de maladies virulentes du bétail soulignent la nécessité de préserver la capacité d'adapter nos systèmes de production agricole» et ce, en faisant la promotion de leur biodiversité (*ibid.*).

Les risques d'appauvrissement de la diversité génétique sont d'autant plus marqués que seulement trois lignées de porcs transgéniques ont été développées par les concepteurs, si bien que l'ensemble des descendants découle directement de ces trois individus. En outre, si la propagation des porcs transgéniques implique le recours aux techniques de clonage, non seulement cet appauvrissement génétique serait amplifié, mais s'ajouterait également la panoplie d'impacts négatifs associés au clonage animal déjà observés (mortalité pré- et post-natale, déformations de certains organes, pathologies diverses (Vajta et Gjerris, 2006)).

Durabilité économique

Sans entrer dans tous les détails des enjeux de durabilité économique de la transgénèse animale, en l'occurrence de ceux du porc transgénique hypophosphorique, question, déjà très complexe qui aurait pu faire l'objet d'un travail de recherche en soi, il nous importe néanmoins de soulever quelques questions essentielles.

Dans le cas de la commercialisation éventuelle de l'Enviropig^{MD} au Québec, l'acceptabilité du public constitue l'un des principaux obstacles selon les concepteurs de l'Enviropig^{MD}. Si bien, qu'inversant l'ordre de l'offre et de la demande, ils osent affirmer qu'en bout de ligne ce sera le consommateur qui décidera... Compte tenu que les OGM, imposés en Amérique du Nord surtout, à l'insu du public, depuis 10 ans, à la fois dans les grandes cultures de soya, de canola, de maïs et de coton, et donc présents à travers les huiles, tourteaux et féculs dans une large partie de l'alimentation animale et humaine, ne sont toujours pas socialement acceptés comme en témoignent les nombreuses pétitions et l'essentiel des sondages réalisés sur le sujet (Greenpeace, 2004, 2005a), cela laisse présager qu'un sort comparable sera réservé aux animaux transgéniques.

Si, d'aventure, le porc transgénique était néanmoins adopté par les producteurs, cela ne contribuerait guère à éliminer à la source les problèmes environnementaux, de santé publique et de santé animale qui minent actuellement ces productions. En outre, l'industrie porcine continuerait alors d'imposer ses externalités, tout en requérant l'injection de précieux fonds publics pour subventionner sa survie et pallier à ses conséquences négatives sans intervenir à la source du problème que sont les actuelles stratégies d'intensification croissante des élevages. Même l'argument selon lequel les producteurs sauveraient certains frais relatifs à l'ajout manuel de phytase, ne peut garantir que le recours au porc transgénique ne sera pas accompagné de coûts additionnels, dont ceux notamment exigés par le versement de redevances aux détenteurs du brevets⁵⁸ et de la licence de distribution. Ainsi, non seulement

⁵⁸ La multinationale Monsanto aurait déjà déposé des demandes de brevet à l'Office suisse des brevets à Genève sur des méthodes très générales de croisement et de sélection et des gènes de porcs non transgéniques déjà présents dans certains cheptels (Greenpeace, 2005b; Jentzsch, 2007).

les bénéfices financiers prévus pourraient être annulés, mais les frais additionnels, dus à l'exigence de redevances, pourraient dépasser les économies prévues de 1,14 dollars par porc, étant donné que du phosphore inorganique ou de la phytase ne serait plus nécessaire dans le cas de l'Enviropig^{MD} (*Guelph Transgenic Pig Research Program*).

Pourraient s'ajouter également les impacts directs et indirects de la transgénèse, et probablement du clonage, sur la santé animale augmentant alors le fardeau financier lié à l'émergence trop fréquente d'épidémies, comme celle du SDPS entraînant alors des pertes économiques énormes pour les producteurs, sans compter les coûts visant à contrôler ces problèmes de santé des bêtes. Le transfert des porcs transgéniques des laboratoires aux porcheries peut aussi entraîner des conséquences imprévues dues aux différences notoires entre les conditions d'élevage prévalentes dans les laboratoires et dans les porcheries, ce qui dans une telle éventualité amplifierait d'autant, les risques pour les producteurs.

En outre, l'ensemble des coûts associés par le développement du cadre réglementaire pour la gestion des animaux transgéniques et pour l'évaluation des risques coûte déjà très cher aux contribuables qui n'ont pourtant jamais été consultés quant à la pertinence de telles avenues de recherche et de mise en marché. Déjà, outre les sommes investies pour développer un tel porc, plusieurs centaines de milliers de dollars ont été octroyés à l'équipe de concepteurs de l'Enviropig^{MD} pour définir les modalités d'évaluation, ce qui n'est pas sans soulever des questions d'apparence de conflit d'intérêts.

Les problèmes économiques ne s'arrêtent pas là. Les créateurs de l'Enviropig^{MD} affirment qu'une fois leur «invention» approuvée aux fins de production alimentaire par le Canada, les États-Unis et la FAO, ceux-ci n'hésiteront pas à conquérir de nouveaux marchés internationaux afin d'y promouvoir l'élevage du porc transgénique hypophosphorique, invoquant des raisons de manque de nourriture, d'accroissement des populations urbaines dans les pays en développement (Forsberg *et al.*, 2005a). En fait, tout comme dans le cas de la production porcine intensive, ceux-ci croient que l'Enviropig^{MD} saurait contribuer à un élevage durable, invoquant toutefois des raisons sensiblement différentes :

Because of their capacity to utilize plant phytate phosphorus and to produce less polluting manure they have a valuable trait that will contribute to enhanced sustainability of pork production in developing countries, where there is less access to either high quality phosphate supplement or phytase enzyme to include in the diet (Forsberg *et al.*, 2005a: 429).

Outre les risques pour la diversité génétique et pour la sécurité alimentaire dans ce domaine pour d'autres pays et outre les multiples conséquences éventuelles déjà évoquées tant au niveau des cheptels que de l'environnement, ne serait-il pas économiquement risqué de produire un tel porc transgénique sachant que de nombreux pays pourraient alors tourner le dos à l'importation de produits transgéniques? Le Japon étant le pays qui importe le plus de porcs québécois à l'heure actuelle, quel serait l'effet sur les exportations connaissant leur méfiance à l'égard des OGM et leur désir de voir les OGM obligatoirement étiquetés (Dion, 2002)?

Exportation de l'Enviropig^{MD}

La production alimentaire des pays en développement pouvant s'accroître, suite à l'urbanisation de certains pays du Sud (de Hann, 2004), il est alors possible que des stratégies de production intensive voient le jour, calquées sur celles des pays riches et accompagnées des mêmes problèmes que ceux que nous connaissons aujourd'hui. C'est dans ce contexte que les promoteurs de l'Enviropig^{MD} considèrent que leur invention pourrait contribuer au développement durable de l'agriculture dans d'autres pays. Or, du moment que des impacts similaires, découlant de l'intensification croissante de la production animale dans ces autres pays, apparaîtront, l'Enviropig^{MD} ne saurait être compatible avec une agriculture durable non seulement du point de vue économique, mais aussi pour toutes les raisons évoquées dans le cadre de ce mémoire.

Prétendant qu'un tel porc transgénique pourrait résoudre des problèmes d'accessibilité réduite au phosphore inorganique ou à la phytase pour l'élevage porcin dans certains pays en développement comme la Chine ou le Niger et même le Brésil (Forsberg *et al.*, 2005b), les promoteurs de l'Enviropig^{MD} ne semblent pas considérer la présence, dans ces pays, de porcs à l'état sauvage et des risques alors de pollution génétique avec leurs impacts

sur l'écosystème. Quels seraient les éventuels effets de croisements possibles entre des porcs indigènes et des porcs transgéniques dans l'éventualité où certaines fuites dans l'environnement pourraient survenir? Le transgène de l'Enviropig^{MD} pourrait-il être transmis à des porcs indigènes et, dans un tel cas, le transgène pourrait-il accroître le taux de croissance et conférer un avantage reproductif à ces animaux qui représenteraient alors, tel que l'ACIA (2004) le définit, un «danger d'invasion»? Sachant que des porcs sauvages ont d'ores et déjà anéanti plusieurs écosystèmes connus (OCDE, 2003 : 44-45) et que la possibilité d'absorber un surplus de phosphore grâce à la production de phytase avantagerait peut-être la dispersion de porcs «indigènes transgéniques», nul ne saurait prédire les conséquences pour les écosystèmes concernés. À ce propos, le National Academy of Science (2002) considère que l'accroissement de l'adaptabilité chez des espèces indigènes, conféré par les transgènes, pourrait avoir de graves conséquences s'ils se répandaient chez des espèces déjà nuisibles. Concernant les connaissances sur la dispersion d'animaux transgéniques dans les populations, seules certaines modélisations basées sur des poissons transgéniques permettent actuellement de dégager certaines hypothèses précoces et peu généralisables chez d'autres animaux, mais qui, dans le cas des saumons transgéniques, mettent en évidence la disparition des saumons sauvages en 40, voire en 20 générations selon les scénarios proposés (Muir et Howard, 2002).

Au sujet de l'exportation de l'Enviropig^{MD}, les concepteurs évoquent déjà comment ils s'y prendraient en cas d'une telle éventualité (Forsberg *et al.*, 2005b : 435-436). Soit ils croiserait un porc transgénique homozygote avec un porc local, soit ils procéderaient à la création d'autres porcs transgéniques :

This could be accomplished by either natural breeding, or more readily by artificial insemination, or by any of the techniques developed for generating transgenic pigs. However introgression of the gene by breeding would be the simplest technique to introduce the gene [...] (Forsberg *et al.*, 2005b : 436).

Cependant, si les stratégies de propagation étaient basées sur des croisements, le porc transgénique hypophosphorique étant en fait un porc Yorkshire adapté à nos conditions d'élevage qui a été génétiquement modifié, cette race développée et sélectionnée pourrait ne

pas se comporter de la même façon en dehors des conditions prévues. C'est ainsi que le croisement de ces porcs Yorkshire transgéniques, habituellement élevés à grande échelle et dont la croissance et la prévention de maladies sont contrôlées par de savantes combinaisons pharmaceutiques permettant des rendements maximaux, avec des porcs élevés localement ne pourrait garantir à eux seuls l'obtention de rendements similaires, ni surtout, la résistance face aux maladies exotiques. En outre, dans l'éventualité où ces porcs seraient exposés à de nouveaux agents pathogènes faces auxquels ils n'ont aucune défense, cela pourrait avoir des conséquences désastreuses sur la santé des populations animales et pourrait même décimer des troupeaux entiers surtout si on pense que, pour des raisons d'efficacité, les individus transgéniques afficheraient des similitudes génétiques dont le clonage faciliterait la réalisation.

Enfin, les créateurs de l'Enviropig^{MD} se targuant que le porc transgénique pourrait être implanté sans l'injection de nouveaux capitaux (Forsberg *et al.*, 2005b) semblent oublier que la commercialisation d'animaux transgéniques dans les pays acceptant d'y voir s'implanter une telle production transgénique nécessitera, comme dans tous les cas d'exploitation d'OGM, le versements de redevances aux propriétaires du brevet, ce qui favoriserait davantage encore la concentration aux mains des grands producteurs au détriment des petits producteurs.

La transgénèse animale est à nos portes

La transgénèse animale semble maintenant à nos portes. Après la diffusion de quelques millions d'hectares de cultures génétiquement modifiés surtout en Amérique du Nord et du Sud, nous voilà aujourd'hui confrontés à la transgénèse animale aux applications alimentaires aussi diverses que discutables. Comme nous l'avons vu dans ce mémoire, cela contribuerait sans doute à aggraver les problèmes découlant de l'industrialisation croissante de la production porcine. Depuis maintenant plus de dix ans, des OGM gavés de pesticides sont cultivés au Canada, alors que nous commençons à peine à comprendre les interactions complexes entre santé environnementale, humaine et animale et que nous commençons à mesurer à quel point les promesses d'une augmentation de la productivité pour les

producteurs d'OGM ont non seulement été non tenues, mais que les effets de pollution génétique à l'égard des OGM se confirment et que les craintes des effets des OGM sur la mort d'insectes pollinisateurs s'amplifient. La responsabilité des pouvoirs publics à l'égard de la préservation des conditions de santé environnementale et de la santé publique ne devraient-ils pas nous inciter collectivement à intervenir afin de prévenir la répétition d'erreurs similaires? En vertu du principe de précaution, malheureusement trop souvent bafoué par certains pouvoirs publics, ne serait-il pas judicieux de privilégier d'autres façons, beaucoup plus globales, de poser le problème et donc d'autres voies de solution que celle de la transgénèse ou du clonage aux issues inconnues et dont nous sommes les cobayes?

Bien que la date initialement prévue, par les concepteurs de l'Enviropig^{MD}, de l'arrivée du porc transgénique sur nos tablettes, soit largement dépassée, néanmoins le développement actuel d'un cadre réglementaire au sein de l'appareil canadien, l'imposante littérature sur l'Enviropig^{MD} et le dynamisme de la R&D en transgénèse animale ainsi que les imposantes subventions accordées par les pouvoirs publics et les recherches toujours en cours au sein de l'équipe de concepteurs menées en rapport avec l'Enviropig^{MD} font craindre que, si l'ignorance du public est ainsi maintenue, cela ne soit alors plus qu'une question de temps,

Au moment de déposer ce mémoire, des scientifiques et des exécutifs de l'industrie des biotechnologies incitaient même la FDA à approuver les animaux génétiquement modifiés aux fins de consommation afin d'attirer les investisseurs qui se font plutôt rares (Pollack, 2007) de peur, peut-être, que les citoyens n'aient guère intérêt à voir des porcs transgéniques dans leur environnement et que les consommateurs n'aient guère envie de viandes transgéniques dans leur alimentation.

Les risques des effets d'entraînement de la jurisprudence

Si la commercialisation de viande transgénique était approuvée par les pouvoirs publics, ceci aurait sans doute un effet d'entraînement sur la commercialisation d'autres animaux transgéniques. Les créateurs de l'Enviropig^{MD} le savent, affirmant que «the approval

of one line should lubricate the process for approval of subsequent lines should the need arise».

Si on en croit la récente décision de la FDA (2006) d'approuver la consommation de produits dérivés d'animaux clonés, l'arrivée massive d'animaux transgéniques, reproduits alors par la technique de clonage, déguisée sous la nomenclature «transfert de noyau somatique», permettrait d'augmenter, selon certains (Vajta et Gjerris, 2006), l'efficacité du processus de création d'animaux transgéniques, accélérant alors l'inondation des marchés commerciaux. En d'autres mots, une fois la porte de la réglementation ouverte, la mise en marché d'autres animaux transgéniques, destinés à l'alimentation, sera grandement facilitée par le clonage. À conditions, bien sûr, que les graves problèmes de santé actuellement entraînés par cette technique soient évités, alors que, pour le moment, cela ne fait qu'ajouter, voire amplifier les problèmes et les risques associés à la transgénèse.

Si la commercialisation de l'Enviropig^{MD} était approuvée, des porcs transgéniques de seconde génération pourraient être proposés, donnant lieu à un empilement de nouveaux gènes conférant de nouveaux caractères comme la diminution de l'excrétion de l'azote ou la capacité de digérer la cellulose⁵⁹, et ce, grâce à des techniques dites plus efficaces, impliquant encore le clonage.

Percevant chez la volaille l'existence des mêmes contraintes de productivité que pour celles du porc, la volaille étant également monogastrique, les concepteurs du porc transgénique hypophosphorique ont même affirmé leur désir d'introduire ces mêmes transformations génétiques au sein du patrimoine génétique de poulets pour qu'eux aussi soient davantage, selon leurs propres termes, «environmentally friendly» (Phillips *et al.*, 2002).

⁵⁹ Le Dr. Forsberg a notamment participé à des recherches sur des enzymes cellulosiques de bactéries intestinales (University of Guelph, 2004; Kam *et al.*, 2005; Qi *et al.*, 2005)

En amont

Comme on peut le constater, les solutions transgéniques sont souvent plus problématiques que les problèmes qu'on prétend ainsi vouloir résoudre (Vandelac et Beaudoin 2007). Comme le soulignait Ulrich Beck (2003), dans *La société du risque*, nous voilà donc dans la phase dite de scientification réflexive où les sciences «ne sont alors plus uniquement la source de solution aux problèmes, mais aussi et en même temps *la source des problèmes eux-mêmes*.» (p. 343). Depuis plusieurs années, de nombreux groupes écologistes et de consommateurs demandent que soit bannie toute commercialisation, production, utilisation et importation d'OGM ou de produits dérivés au Québec, tant que la preuve de leur innocuité ne sera pas faite quant aux risques pour l'environnement et la santé (Legault, 2006).

Des solutions pour contrer les problèmes relevant de la production porcine au Québec sont quant à elle aussi proposées depuis des années par des universitaires, des groupes environnementaux et des citoyens ce dont a éloquemment témoigné le rapport du BAPE sur l'inscription de la production porcine dans le développement durable dans son rapport final.

Comme les transformations du milieu agricole traditionnel ont été fortement soutenues par les gouvernements successifs, la critique prône un retour aux pouvoirs locaux, une mise à distance à l'égard de la mondialisation et de l'ouverture des marchés, une préférence pour une économie de proximité. Non seulement c'est tout le modèle de la société rurale qui est mis en cause, mais aussi celui de la société globale. L'Union paysanne, la Coalition citoyenne santé et environnement et les groupes écologistes sont les principaux protagonistes de ces orientations. Les suggestions varient mais, en général, elles contiennent : le passage de la gestion liquide (lisier) vers la gestion solide (litière et fumier), la désintensification de la production, l'adoption d'une norme d'une unité animale à l'hectare, l'arrêt des exportations, des mesures de bien-être animal, l'instauration de la démocratie locale et de référendums décisionnels, l'inscription dans la ruralité (BAPE, 2003a : 21).

Comme en témoignent les audiences sur l'avenir de l'agriculture, cette remise en question, non seulement des excès et des effets pervers de l'intensification de la production animale, mais d'un tel modèle agro-industriel peu viable et non durable est de plus en plus largement partagée au sein de la population québécoise (CAAAQ, 2008).

Dans ce contexte, l'introduction de l'Enviropig^{MD} dans les élevages et les assiettes serait sans doute non seulement plus qu'imprudente, mais sans doute fort mal venue. Comme nous l'avons démontré, l'introduction dans les élevages d'un tel porc transgénique ne résout aucunement la complexité des problèmes de la production porcine, mais risque fort d'intensifier les effets négatifs des pratiques actuelles, voire d'amplifier le caractère non durable de stratégies d'alimentation et d'élevage.

En outre, les nombreuses incertitudes scientifiques relatives aux impacts potentiels d'un tel porc transgénique, ajoutées aux difficultés d'évaluations scientifiques de ses effets éventuels sur la santé humaine et animale, ne risquent-elles pas aussi de s'ajouter, voire d'amplifier les problèmes actuels, compromettant d'autant plus la contribution prétendue de ce type de transgénèse animale à la durabilité de l'agriculture?

Dans le cas de l'Enviropig^{MD}, comme nous l'avons déjà évoqué ailleurs, (Vandelac et Beaudoin, 2007), l'examen du bien-fondé d'une telle transgénèse aurait dû faire l'objet d'une analyse approfondie des raisons évoquées pour légitimer la pertinence d'un tel projet en tenant compte de la complexité de la problématique de la production porcine tant au Canada qu'au Québec. Quelle est tout d'abord la nature du problème? Quelles en sont les causes? Quels sont ces prétendus «besoins» qui pourraient être satisfaits par la transgénèse? Quels sont les acteurs sociaux qui en bénéficieraient? Qui sera imputable des risques éventuels? Ces questions ne méritent-elles pas d'être examinées dans le cadre d'une analyse écosystémique de la problématique, en amont du processus de commercialisation du porc transgénique, afin d'identifier à la fois le bien-fondé d'un tel projet ainsi que l'ensemble des enjeux et des autres alternatives.

Vu l'ampleur des impacts et des risques d'introduire de tels porcs transgéniques dans les élevages et dans nos assiettes, n'est-il pas impératif d'exiger la mise en place d'un dispositif démocratique d'évaluation stratégique permettant de débattre de la légitimité même du recours à la transgénèse animale à visées alimentaires? D'autant plus que ce porc transgénique soit disant «ami de la nature», constitue un véritable Cheval de Troie pour introduire la transgénèse animale dans tout le cycle agroalimentaire au profit d'une

concentration agroindustrielle dont les impacts en cascades affectent beaucoup plus largement les équilibres vitaux des écosystèmes et les équilibres socio-économiques des communautés voire même les questions de sécurité et de souveraineté alimentaire que ne peut le faire le phosphore (Vandelac et Beaudoin, 2007).

Le développement technoscientifique, poussé par certains enjeux économiques du secteur, progresse manifestement plus rapidement que les capacités d'analyse rigoureuse du bien-fondé et des impacts environnementaux, zoosanitaires et sociosanitaires de l'introduction en agriculture d'animaux transgéniques. Dans une perspective de développement durable n'est-ce pas en amont de l'introduction d'animaux transgéniques, au-delà de la technique même et en considérant l'ensemble des enjeux d'un tel modèle d'élevage et plus globalement d'agriculture, qu'il importe d'entreprendre un véritable travail d'évaluation? (*ibid.*). De plus, au-delà de la mise en évidence des nombreuses zones d'ombre en termes d'évaluation scientifique des risques associés à la commercialisation de l'Enviropig^{MD} sur la santé animale, humaine et environnementale, il nous est apparu évident que les questions d'économie et de travail, tout comme les questions de politiques internationales, et les questions socio-culturelles, alimentaires doivent faire partie de telles évaluations qui sont essentielles pour juger démocratiquement de la pertinence ou non de créer de tels animaux transgéniques. Certes, la refonte du cadre réglementaire est nécessaire, mais cela ne devrait-il pas être précédé d'une évaluation stratégique de la transgénèse animale permettant de poser la question du bien-fondé du recours à la transgénèse pour la production d'animaux d'élevage (Vandelac, 2006c)?

APPENDICE A

Échelle des effets sur l'environnement résultant de la production porcine

Problème environnemental	Effets sur la santé humaine	Effets sur la santé porcine	Effets sur l'environnement	Échelle des effets sur l'environnement :				
				Local	Sous-national	National	Trans-frontière	Global
Pollution de l'eau - Nitrates - Phosphates - Agents pathogènes	< > Eau potable	non non Maladies	Eutrophisation ?	oui oui oui ?	oui oui oui ?	faible faible ?	oui oui ?	non non ?
Pollution de l'atmosphère - Ammoniac - Méthane - Oxyde d'azote - Odeur - Poussières	Irritant non non Nuisance Allergie ?	Irritant non non non Infections	Acidification Changement climatique faible faible	haut oui oui oui oui	modéré oui oui no faible	faible-moderé oui oui non non	faible-moderé oui oui non non	faible ? oui oui non non
Pollution des sols - Métaux lourds	modéré	modéré	Croissance des cultures	oui	oui	faible	non	non
Utilisation de l'eau	non	non	Niveau de la nappe phréatique	oui	oui	faible	non	non
Biodiversité - Érosion génétique de races porcines rares - Porcs envahissants - Service de l'écosystème par les porcs sur pâturage	non non non	Perte de diversité génétique Maladies non	non Domages à l'écosystème + à l'agriculture Maintenir certains écosystèmes	oui oui oui	oui oui oui	oui oui faible	oui non non	oui non non

Source: Secrétariat de l'OCDE, d'après Wathes et Hurtung (2001).

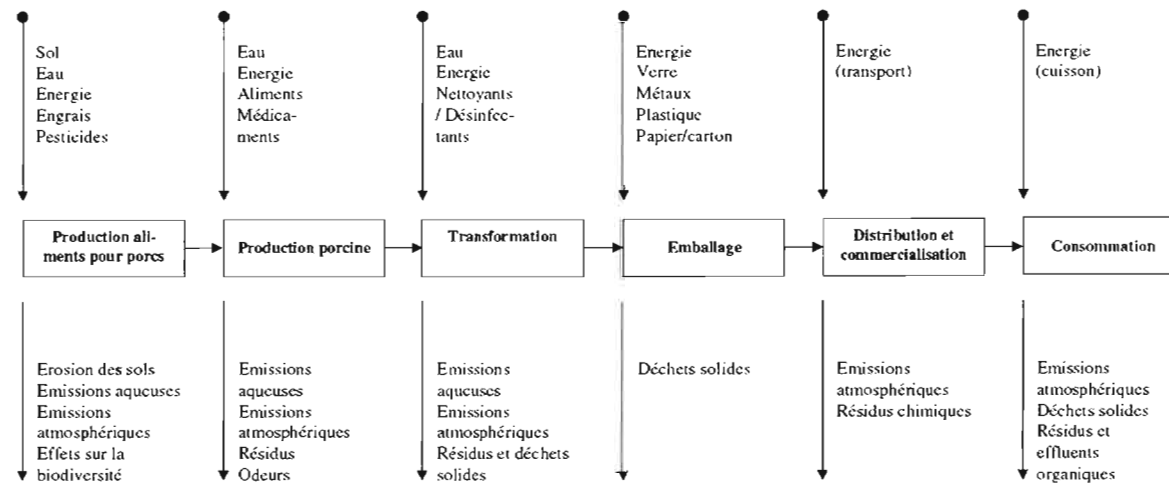
Tiré de :

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2003. *Agriculture, échanges et environnement: le secteur porcin*. Paris: OCDE, p. 47.

APPENDICE B

Approche cycle de vie de la production porcine intensive

UTILISATION DES RESSOURCES ET DES INTRANTS



EFFETS ENVIRONNEMENTAUX

Cette « approche par le cycle de vie » illustre l'étendue et la diversité des ressources utilisées et des effets sur l'environnement qui résultent des activités d'élevage, de transformation, commercialisation et consommation tout au long de la chaîne alimentaire, du porc sur pied à l'assiette du consommateur.

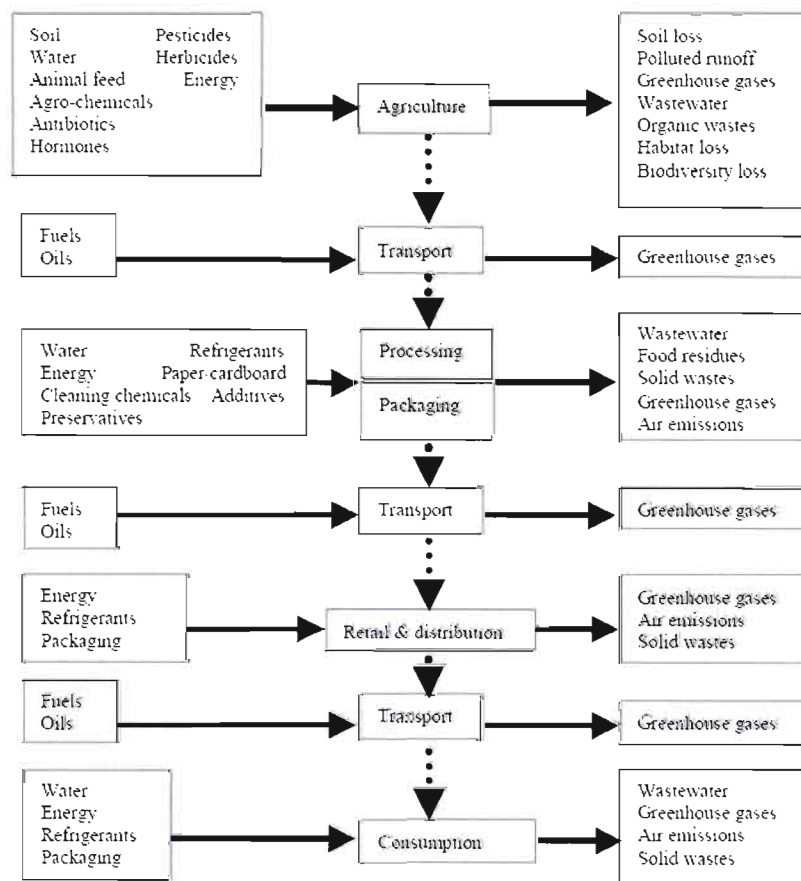
Tiré de :

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2003. *Agriculture, échanges et environnement: le secteur porcin*. Paris: OCDE, p. 30-31.

APPENDICE C

Composantes des impacts environnementaux d'une chaîne alimentaire typique

Components of the environmental impacts of a typical food chain

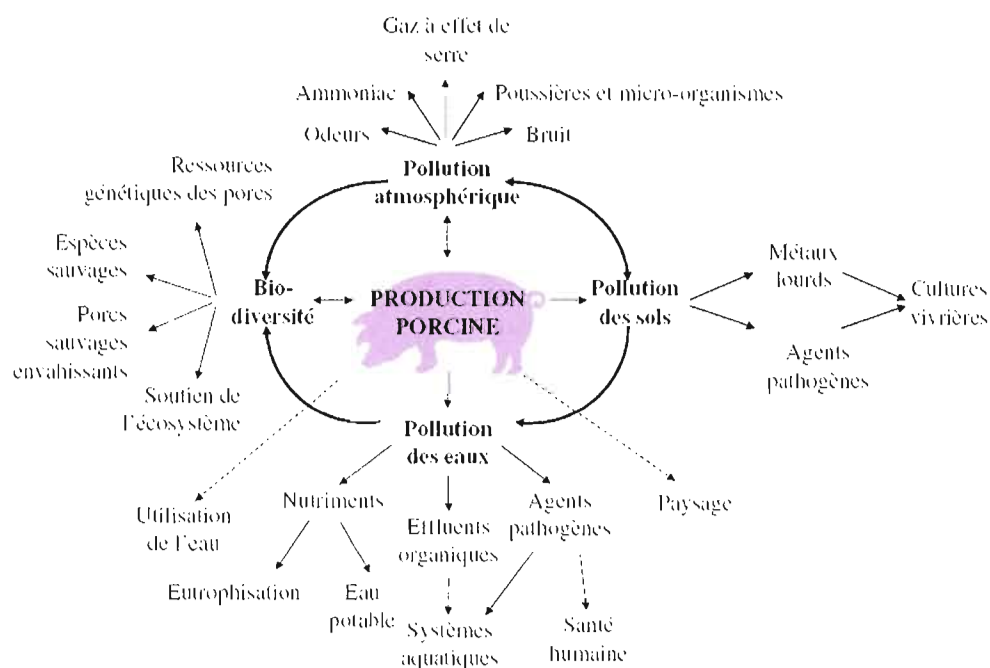


Tiré de :

Massari, S. 2000. «Current food consumption patterns and global sustainability: discussion paper». Programme des nations unies pour l'environnement, Sustainable agri-food production and consumption forum, p. 15, <www.agrifood-forum.net/issues/consumption/doc/agri-consumption.pdf>. Consulté le 22-05-2005.

APPENDICE D

Approche écosystémique de la production porcine intensive



Source : OCDE, 2002.

Tiré de :

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2003. *Agriculture, échanges et environnement: le secteur porcin*. Paris: OCDE, p. 32.

APPENDICE E

Liste non exhaustive des pesticides retrouvés dans les eaux en milieu agricole et les impacts potentiels sur la santé humaine suite à une exposition à long terme

Tableau 1 Liste non exhaustive des pesticides retrouvés dans les eaux en milieu agricole et les impacts potentiels sur la santé humaine suite à une exposition à long terme

Groupes chimiques	Matières actives (nom commercial)	Effets chroniques potentiels
Triazines	Atrazine (AATREX) Metribuzine (Bay, Sencor) Cyanazine (Bladex) Simazine	Cancer des ovaires; Cancer du cerveau; Affections au système immunitaire (tumeurs malignes du système lymphatique, sarcomes du tissu mou)
Carbamates	Aldicarbe (TEMIK) Carbaryl (SEVIN) Carbofuran (FURADAN) EPTC (EPTAM)	Affection au système nerveux (Neuropathies tardives, dégénérescences des tissus nerveux, anomalies du fonctionnement intellectuel et neuropsychologique, maladie de Parkinson)
Organophosphorés	Diazinon (BASIDIN) Malathion (CYTHION) Parathion (FOLIDOL, NIRAN) Diméthoate (CYGON) Glyphosate (Round UP) Azinphos-méthyl (GUTHION)	Affections au système nerveux (Neuropathies tardives, dégénérescence des tissus nerveux, anomalies du fonctionnement intellectuel et neuropsychologique, maladie de Parkinson) Affections au système immunitaire (tumeurs malignes du système lymphatique, sarcomes du tissu mou)
Organochlorés	Lindane (GAMMEXANE) DDT Endosulfan (THIODAN) Enchrine	Affection au système reproducteur (dérèglements hormonaux, détérioration de la qualité du sperme, infertilité etc.); Affection au système immunitaire (tumeurs malignes du système lymphatique, sarcomes des tissus mous); Cancers du sein et des ovaires; Cancers des testicules et de la prostate
Dinitroaniline	Trifluraline (PROLAN)	Indéterminés
Acide benzoïque et dérivé	Dicamba (Trooper)	Affections à la peau; Affections au système immunitaire (tumeurs malignes du système lymphatique, sarcomes des tissus mous); Leucémies
Aryloxyacides	2,4-D (Agroxone) 2,4 DP 2,4-DB (EMBUTOX, BUTIREX) 2,4,5-T MCPA (AGritox)	Affections à la peau; Effets tératogènes (avortements spontanés, naissances prématurées, mortalités à la naissance, malformations congénitales); Affections au système immunitaire (tumeurs malignes du système lymphatique, sarcomes des tissus mous), Cancer du cerveau Leucémies
Urées substitués	Linuron (AFOLAN) Diuron (KARMEX) Tébutiuron (GRASLAN)	Indéterminés
Dérivés des amides	Alachlore (LASSO) Métochloré (DUAL)	Indéterminés

Tiré de :

Coalition Eau Secours! 2003. *Avant que nous nous enlions : pour un élevage sans danger pour l'eau*. Mémoire présenté à la Commission du BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec, p. 16.

APPENDICE F

Impacts zoosanitaires de la production porcine intensive découlant de la sélection génétique et des conditions d'élevage

Facteurs	Mécanisme ou composante impliqué	Effets actuels ou potentiels sur le bien-être et la santé animale	Références
Sélection génétique	Érosion génétique	Augmente la susceptibilité aux maladies.	NAS, 2002: 107; OCDE, 2003: 14, 44.
	Désordre génétique.	Par exemple, la présence du gène halothane augmente l'excitabilité durant certaines situations stressantes. Les porcs atteints peuvent développer une rigidité musculaire, une augmentation du rythme respiratoire et peuvent mourir en quelques minutes.	CIWF, 2002: 13
	Augmentation de la performance reproductrice : augmentation du nombre de porcelets par portée.	Les porcelets sont plus petits et faibles et leur survie est incertaine. Ceci augmente les chances de piétinement par la mère.	Arey et Brooke, 2006; CIWF, 2002: 13.
		Les dernières lactations, plus exigeantes lors de portées importantes, peuvent affecter la condition de la truie et compromettre la productivité des futures portées.	CIWF, 2002 : 13; Arey et Brooke, 2006
	Augmentation du taux de croissance et de la conversion alimentaire	Augmente l'appétit causant la faim lorsque les adultes sont soumis à une diète restrictive. L'augmentation du taux métabolique et de la masse musculaire génèrent de la chaleur causant des problèmes de régulation thermique. Affecte aussi les systèmes cardiovasculaire et squelettique et entraîne des problèmes de boiterie	Arey et Brooke, 2006
	Amaigrissement de la carcasse et diminution du gras dorsal.	La diminution des réserves graisseuses dorsales peut compromettre la production laitière lors de grandes portées.	Arey et Brooke, 2006
	Allongement du corps	Ceci peut mettre de la pression sur les membres et le dos.	Arey et Brooke, 2006
Conditions d'élevage	Mauvais enrichissement du milieu: interactions sociales moins variées, environnement moins changeant, moins d'opportunité de fourrager.	Accroît l'excitabilité, le stress ⁴ , l'agressivité et l'ennui. Augmente ainsi la susceptibilité à développer des anomalies physiques, des comportements anormaux envers les autres (caudophagie) et une forte réactivité aux changements.	PROD38 : 64, 70 cité dans BAPE, 2003b :95; Arey et Brooke, 2006
	Mélange de porcs avec d'autres porcs non familiers, en grande concentration.	Les agressions et les batailles qui en découlent causent des blessures et du stress.	Arey et Brooke, 2006
	Confinement pendant de longues périodes.	Cause stress chronique. Chez les femelles en parturition, le stress aigu de la mise bas peut avoir de sérieuses conséquences sur certaines hormones, qui en retour peuvent affecter la parturition. Le confinement prolongé cause aussi de la caudophagie et des infections urinaires.	BAPE, 2003b : 92; Baxter et Petherick, 1980 cité dans Arey et Brooke, 2006;
	Étroitesse des cages.	L'impossibilité de changer de posture convenablement peut causer des problèmes de boiteries et de déformations aux onglons et du stress entraînant alors des l'apparition de stéréotypies.	PROD38 : 63 cité dans BAPE, 2003b : 94
	Élevage sur planchers lattés ou en béton.	Boiterie, irritation des membres des femelles gestantes confinées sur un plancher en béton sans litière, déformation du squelette des membres et des pieds.	Horrigan <i>et al.</i> , 2002 : 449; Arey et Brooke, 2006
	Sevrage prématuré (3-4 semaines)	Souffrance, stress, comportements anormaux.	BAPE, 2003b :92; Arey et Brooke, 2006
	Coupe des dents	Blessure à l'intérieur de la gueule du porcelet, détresse, changement de comportement.	BAPE, 2003b : 92
	Coupe de la queue	Augmentation de la sensibilité de la queue, de la fréquence de l'arthrite et de certaines infections entraînant la mort.	PROD38 : 72-73 cité dans BAPE, 2003b : 93
	Castration	Détresse et douleur indépendamment de l'âge	PROD38 : 74 cité dans BAPE, 2003b : 93
	Présence de gaz toxique dans l'air.	Irritation pulmonaire, pneumonie	Horrigan <i>et al.</i> , 2002 : 449
	Recours aux antibiotiques (traitement, promoteur de croissance)	Émergence de résistance bactérienne aux antibiotiques chez les animaux et les humains, ce qui augmente la susceptibilité aux maladies.	Cole <i>et al.</i> , 2000 : 685; Gilchrist <i>et al.</i> , 2007

⁴ Le stress peut provoquer une augmentation de la température, une diminution du taux de croissance et du poids, une suppression du système immunitaire (Arey et Brooke, 2006) et augmenter la susceptibilité aux maladies (Broom, 1987 cité dans Arey et Brooke, 2006). Les causes de stress peuvent être la faim, le sevrage précoce, l'entassement, le mélange, l'agression, le confinement, l'absence de litière, etc. (Arey et Brooke, 2006).

APPENDICE G
Biodisponibilité de l'azote et du phosphore dans les
ingrédients alimentaires pour les porcs

Feedstuff	Bioavailability		Feedstuff	Bioavailability	
	P* (%)	N** (%)		P* (%)	N** (%)
Cereal Grains			High Protein Meals - Plant		
Corn	14	78	Canola meal	21	78
Oats	22	76	Soybean meal, dehulled	23	90
Barley	30	79	Soybean meal, 44% protein	31	89
Tricale	46	81			
Wheat	50	81	High Protein Meals - Animal		
			Feather meal	31	67
Grain By-products			Meat and bone meal	90	80
Oat groats	13	79	Dried skim milk	91	93
Corn gluten meal	15	80	Blood meal	92	94
Rice bran	25	78	Fish meal	94	95
Wheat bran	29	71	Dried whey	97	87
Brewers grains	34	82			
Wheat middlings	41	89	Inorganic Phosphates		
Corn gluten feed	59	66	Steamed bone meal	85	-
Distillers grains	77	75	Defluorinated phosphate	90	-
			Monocalcium phosphate	100	-
Miscellaneous			Dicalcium phosphate	100	-
Alfalfa meal	100	56			

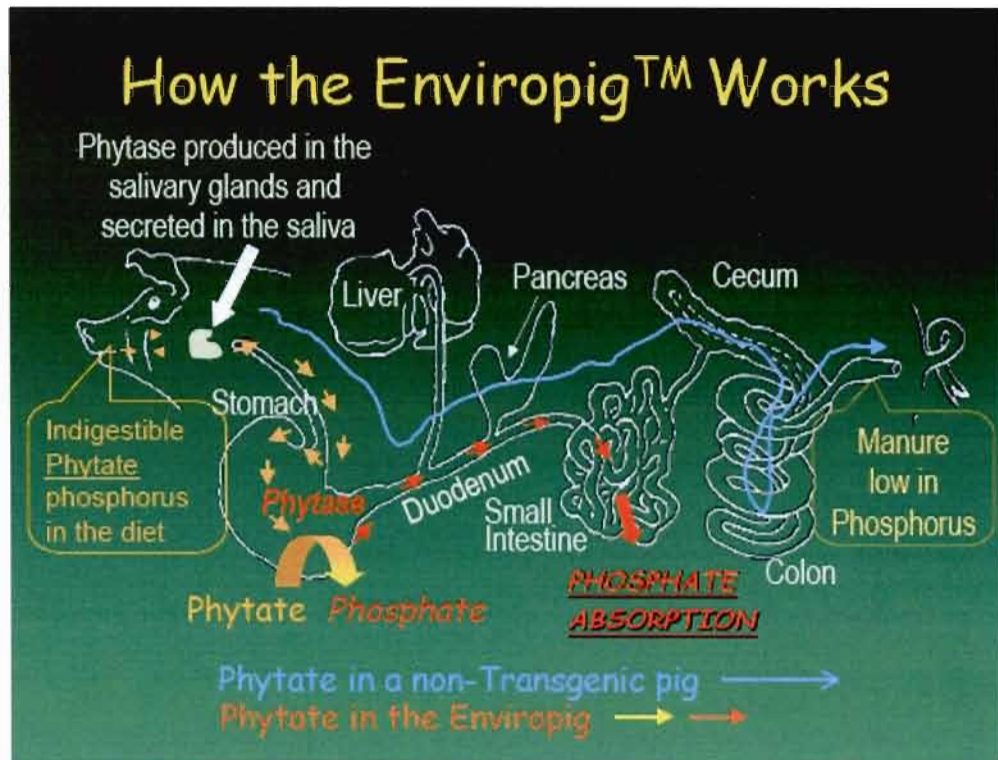
* relative to the availability of P in monosodium/monocalcium phosphate which equal 100

**true ileal digestibility of lysine

Tiré de :

NRC (National Research Council). 1998. *Nutrient Requirements of Swine*, 10^e éd.
 Washington (DC) : National Academy Press, 210 p.,
<http://darwin.nap.edu/books/0309059933/html>. Consulté le 10-08-2006.

APPENDICE H
Fonctionnement physiologique de l'Enviropig^{MD}



Tiré de :

<www.bioethics.iastate.edu/classroom/docs/enviropig.pdf>. Consulté le 10 mars 2006.

APPENDICE I

Liste des mots-clés utilisés pour la recherche

animaux d'élevage
animaux transgéniques
agriculture durable
bien-être animal
biodiversité
biotechnologie
évaluation
environnement
Enviropig
génie génétique; pollution
phosphore (surplus de)
phytase
porc
production porcine (intensive)
réductionnisme génétique
réglementation
risque(s)
santé animale
santé humaine
sécurité alimentaire
toxicité
transfert génétique horizontal.

APPENDICE J

Hazards related to the techniques and methods used in the production of biotechnology-derived animals

-
- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Technique or process-based hazards</p> <p>1.1 Adventitious infectious agent transfer</p> <ul style="list-style-type: none"> – viral, bacterial, fungal, prion – vector virus crossing species barrier <p>1.2 Endogenous retroviral activation</p> <ul style="list-style-type: none"> – activation associated with infection and/or neoplastic agent <p>1.3 Heteroplasmy of mitochondria</p> <ul style="list-style-type: none"> – metabolic disorders <p>1.4 Embryo manipulation/use of cell culture</p> <ul style="list-style-type: none"> – large-offspring syndrome and metabolic diseases – pregnancy loss – neonatal mortality – young animal morbidity/mortality associated with congenital and developmental defects <p>2 Transgene or product-based hazards</p> <p>Transgene expression</p> <ul style="list-style-type: none"> – altered reproductive physiology (lack of libido, female anestrus) – growth disturbances in the transgenic animal – altered metabolic pathways with concentration of toxin in tissues – excess transgene expression/production of product or its metabolite – pleiotropic effects of transgene expression – ectopic expression of transgene/production of product or its metabolite | <p>3. Insertional mutagenesis/mutation-based hazards</p> <p>Insertional mutagenesis/mutation</p> <ul style="list-style-type: none"> – disruption of endogenous gene function causing immune suppression and infectious diseases – altered metabolic pathways due to toxin production – lethal congenital/developmental defects <p>4. Other hazards</p> <p>4.1 Transfer of antibiotic resistance genes from cells of transgene (TG) animals to the environment</p> <ul style="list-style-type: none"> – transfer of antibiotic resistance gene to the environment <p>4.2 Transfer of TG-bearing deoxyribonucleic acid (DNA) through the digestive tract</p> <ul style="list-style-type: none"> – passage and persistence of transgene-bearing DNA in the digestive tract <p>4.3 Transfer of TG to domestic animal populations, wildlife populations and ecosystems</p> <ul style="list-style-type: none"> – spread of transgene into indigenous domestic animals or wildlife <p>5 Hazards associated with interspecies hybrid animals produced by <i>in vitro</i> techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> – disproportionate size and shape of offspring associated with hybrid genetics |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
-

Source : Animal Health Risk Analysis Unit, 2004.

Tiré de :

Moreau, P. et L.T. Jordan. 2005. «A framework for the animal health risk analysis of biotechnology-derived animals : a Canadian perspective». *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.*, vol. 24, no. 1, p. 56.

GLOSSAIRE

Adduit : Molécules, tels des polluants, comme des hydrocarbures polycycliques aromatiques venant des gaz de voiture, ou des dioxines venant des résidus d'incinérateurs. Elles forment des liaisons fortes (covalentes), notamment à l'ADN, favorisant les mutations.

ADN : Acide désoxyribonucléique. Longue chaîne macromoléculaire de déoxyribonucléotides. L'ADN constitue le matériel génétique de la plupart des organismes et des organites connus, et se trouve habituellement sous forme d'une double hélice, bien que quelques génomes viraux sont constitués par un ADN simple brin et d'autres par un ARN simple ou double-brin.

ADN recombinant : Molécule d'ADN construite à partir de segments d'ADN d'origines différentes. La technologie de l'ADNr permet entre autres la transgénèse, c'est-à-dire l'insertion d'un gène étranger dans le génome d'un organisme vivant.

Adventice : Se dit d'une plante qui colonise par accident un territoire qui lui est étranger sans y avoir été volontairement semée. Se dit d'une espèce végétale indésirable, présente dans la culture d'une autre espèce.

Aliment fonctionnel : Produit alimentaire qui, au-delà des fonctions nutritionnelles de base, procure des bienfaits physiologiques, démontrant des effets bénéfiques spécifiques sur la santé, y compris la prévention et le traitement des maladies.

Allergène : Antigène provoquant une réponse immunitaire.

Allergénicité : Potentiel allergique.

Animal monogastrique : Animal non ruminant pourvu d'un estomac simple.

Antibiotique : Classe de composés naturels et synthétiques qui inhibent la croissance de certains microorganismes ou les détruisent. Les antibiotiques sont largement utilisés en médecine pour contrôler les bactéries pathogènes, mais souvent la résistance des bactéries à des antibiotiques particuliers est rapidement acquise par mutation.

ARN anti-sens : Séquence d'ARN complémentaire à la totalité ou à une partie d'une molécule d'ARNm fonctionnelle, à laquelle elle se lie en bloquant sa traduction.

Bioaccumulation : Problème qui peut survenir lorsqu'un produit chimique tel qu'un métal lourd ou du DDT est introduit dans un environnement naturel. Si aucun agent n'est présent et capable de le biodégrader, sa concentration peut augmenter tout en passant

vers le haut de la chaîne alimentaire. Des organismes supérieurs peuvent alors souffrir des effets toxiques.

Bioamplification : *voir* Biomagnification.

Biolistique : Technique de production de cellules transgéniques, dans laquelle des petites particules de métal couvertes d'ADN (tungstène ou or) sont propulsées par différents moyens à une vitesse suffisante pour perforer les cellules cibles. Si la cellule n'est pas complètement endommagée, l'ADN est souvent incorporé par la cellule. La technique a été utilisée avec succès pour transformer les cellules animales, végétales et fongiques, et même les mitochondries à l'intérieur des cellules. Synonyme: bombardement de micro-projectiles.

Biomarqueur : *voir* Gène rapporteur

Biosécurité : Se référant à l'action d'éviter un risque pour la santé et la sûreté humaine, et pour la conservation de l'environnement, en raison de l'utilisation, pour la recherche et le commerce, d'organismes infectieux ou génétiquement modifiés.

Biotechnologie : Terme général servant à décrire l'utilisation de procédés biologiques afin de faire des produits, par comparaison à des procédés purement chimiques. La biotechnologie a été en pratique depuis des siècles et comprend des applications traditionnelles telles que l'utilisation de la levure pour la fermentation de la bière, de même que des applications plus récentes comme les techniques de l'ADN recombinant afin d'améliorer les cultures.

Blastocyste : Embryon de mammifère (l'ovule fécondé) dans les stades précoces de développement, approximativement jusqu'au temps d'implantation. Il est constitué d'une masse cellulaire entourant une cavité.

Bombardement : *voir* Biolistique

Brevet : Permission légale pour avoir le droit exclusif - pour une période de temps définie - de produire, d'utiliser ou de vendre une invention.

Cellules EG (embryonic germ cells) : Cellules provenant des cultures de cellules germinales primordiales (précurseurs des ovules et des spermatozoïdes, prélevés sur des foetus). Ces cellules donnent naissance à des cellules souches, possédant des caractéristiques analogues aux cellules ES.

Cellules ES (embryonic stem cells: cellules souches embryonnaires) : Cellules dérivées de la masse interne du blastocyste. Ces cellules sont pluripotentes et peuvent s'autorenouveler et se différencier pour donner naissance à tous les types cellulaires de l'adulte.

Cellule somatique : Cellules non impliquées dans la reproduction sexuée, c'est-à-dire cellules non germinales.

Chimère : Organisme dont les cellules ne sont pas toutes génotypiquement identiques.

Chromosome artificiel : Construction composée des éléments de base d'un chromosome normal à l'intérieur duquel une ou plusieurs séquence(s) génétique(s) peuvent être introduite(s).

Circovirus : Virus responsable du SDPS.

Clonage : Appliqué à un organisme, le clonage consiste à produire un individu ou une population d'individus possédant dans le noyau de leurs cellules un ensemble de gènes identiques à celui de l'organisme à partir duquel le clonage a été réalisé. Le clonage peut être effectué à partir de cellules provenant d'un individu adulte, ou de cellules issues d'un même embryon.

Clonage moléculaire : Technique devenue routinière en biologie moléculaire qui consiste à cloner des fragments d'ADN, la base moléculaire de l'hérédité. Les fragments d'ADN sont copiés et amplifiés dans un organisme hôte, en général une bactérie, une cellule de levure ou de mammifère. Cette technique a permis la production de molécules d'une grande importance thérapeutique comme l'hormone de croissance, l'érythropoïétine (permettant le traitement de l'anémie associée à l'insuffisance rénale), le tPA (permettant de dissoudre les caillots sanguins).

Clonage embryonnaire : Production de copies identiques d'un embryon par scission d'embryons ou par transfert nucléaire à partir de cellules embryonnaires non différenciées.

Clonage de gènes : Synthèse de plusieurs copies d'une séquence d'ADN choisie, utilisant une cellule bactérienne ou un autre organisme comme hôte. Le gène d'intérêt est inséré dans un vecteur, et la molécule d'ADN recombinant résultante est amplifiée dans une cellule hôte appropriée. Synonyme: clonage d'ADN.

Clonage moléculaire : Amplification biologique d'une séquence d'ADN via la division mitotique de la cellule hôte à l'intérieur de laquelle elle a été transformée ou transfectée.

Conjugaison : Chez les bactéries, mode de transfert de gènes et de recombinaison qui nécessite un contact direct entre les cellules.

Construction génétique : ADN chimère modifié génétiquement destiné à être transféré dans une cellule ou un tissu. Typiquement, la construction comprend, comme une seule entité, le/les gène(s) d'intérêt, un gène marqueur et des séquences de contrôle appropriées. Une construction employée à plusieurs reprises peut être appelée «cassette d'expression».

Cytotoxicité : Empoisonnement de la cellule.

Effet de position : Influence de la position d'un gène (surtout un transgène) sur son expression et ensuite sur son effet phénotypique.

Électroporation : Induction de pores transitoires chez les cellules bactériennes ou les protoplastes par application d'impulsions électriques. Ces pores permettent l'entrée d'ADN exogène dans la cellule. Largement utilisée lors de la transformation de bactéries.

Enzyme de restriction : Groupes d'enzymes d'origine bactérienne capables de découper une molécule d'ADN à des endroits très spécifiques d'une séquence de nucléotides, rendant ainsi possible l'insertion ou l'extraction de gènes.

Épigénétique : Phénomène modifiant un gène ou son expression de manière parfois héritable sans changer sa séquence d'ADN, mais par exemple son habillage de méthylations et d'adduits.

Escherichia coli (*E. coli*) : Bactérie présente dans l'intestin d'animaux et des humains couramment utilisée en transgénèse. Certaines souches peuvent être la cause de maladies, mais la majorité sont inoffensives.

Eucaryotes : Cellules pourvues d'une enveloppe nucléaire, d'organites cytoplasmiques et d'un cytosquelette (animaux, plantes, champignons et protistes en font partie).

Évaluation du risque : processus fondé sur des données scientifiques comportant les étapes suivantes: i) identification du danger; ii) caractérisation du danger; iii) évaluation de l'exposition; et iv) caractérisation du risque.

Exon : Segment d'un gène eucaryote étant transcrit comme partie du transcrit primaire et retenu, après maturation moléculaire, avec d'autres exons pour former une molécule d'ARNm fonctionnelle. Beaucoup de gènes eucaryotes sont composés d'une mosaïque d'exons et d'introns.

Expression ectopique : Décrit l'expression d'un gène dans un tissu dans lequel il n'est pas exprimé habituellement.

Expression génétique : Processus par lequel un gène produit un ARNm puis une protéine, pour exercer par la suite un effet sur le phénotype d'un organisme. (FAO) Somme des étapes comprenant (entre autres et en général) la transcription et la traduction aboutissant à la formation d'une protéine active.

Fongicide : Agent chimique toxique pour les champignons.

Dénitrification : Processus chimique par lequel les nitrates du sol sont réduits en azote moléculaire libéré dans l'atmosphère.

Gène : séquence d'ADN comprise comme un message par la cellule, pour fabriquer une molécule d'ARN, puis dans certains cas une protéine. Un gène d'organisme supérieur est morcelé en introns et exons qui se succèdent alternativement, il commence par un promoteur souvent de longueur difficilement définie et s'achève par un terminateur; ces deux structures encadrent la séquence codante. La longueur d'un gène est très variable, de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de paires de bases, environ 2 000 en moyenne chez l'homme.

Gène marqueur de résistance aux antibiotiques : Gènes (généralement d'origine bactérienne) utilisés comme marqueurs de sélection en transgénèse, car leur présence permet la survie des cellules en présence d'agents antibiotiques normalement toxiques. Ces gènes étaient utilisés dans le développement et la libération de la première génération d'organismes transgéniques (particulièrement chez les plantes cultivées), mais ils ne sont plus recommandés à cause des risques potentiels associés au transfert indésiré de la résistance aux antibiotiques à d'autres organismes.

Gène rapporteur : Gène codant une substance facilement analysable. Utilisé comme marqueur pour confirmer l'incorporation d'un transgène dans une cellule, un organe ou un tissu, et en tant que moyen d'examiner l'efficacité de promoteurs spécifiques.

Génie génétique : Ensemble de techniques utilisées pour modifier délibérément l'information génétique d'un organisme par un changement de son acide nucléique génomique.

Génome : patrimoine génétique, comprenant l'ensemble des gènes, et par extension de l'ADN non organisé en gènes, qui en constitue d'ailleurs l'essentiel chez les organismes complexes (95%).

Génotype : Ensemble des gènes, latents ou exprimés, d'un organisme. Patrimoine génétique d'un individu ou d'un groupe.

Glycosylation : Modification permanente d'une protéine après sa synthèse par l'ajout d'un sucre (formation d'une glycoprotéine).

Glyphosate : Principe actif de certains herbicides, tuant les plantes en inhibant l'activité de la enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthétase.

Haploïde : Qui possède la moitié du nombre de chromosomes présents dans une cellule somatique ou un ensemble unique de chromosomes.

Herbicide : composé chimique constitué d'un principe actif et d'adjuvants, destiné à tuer certaines espèces de plantes. On dit alors qu'il est sélectif ou spécifique.

Herbicide total : Herbicide peu ou pas sélectif, à spectre d'action large, destiné à tuer tous les types de «mauvais» herbes, les adventices.

Hétérozygote : Individu ayant des allèles non identiques pour un gène particulier ou pour plusieurs gènes.

Homologie : État d'acides nucléiques ou de protéines qui partagent une origine phylogénétique commune.

Homozygote : Individu ayant le même allèle aux locus correspondants dans les chromosomes homologues.

Hybride : Individu provenant du croisement de variétés ou d'espèces différentes.

Infection : Colonisation réussie d'un organisme vivant par un pathogène.

Insecticide : Substance qui tue les insectes.

Instabilité : Manque d'un phénotype constant, généralement comme résultat des changements génétiques non contrôlés. Cela peut être dû à l'activité des transposons ou à des changements dans le caryotype des lignées cellulaires.

Intratrachéale : À l'intérieur de la trachée.

Introgression : Introduction de nouveaux allèles ou gène(s) dans une population à partir d'une source exotique, généralement une espèce différente. Ceci est réalisé par rétrocroisement répété de l'hybride initial afin d'éliminer tous les changements génétiques, à l'exception du(des) nouveau(x) gène(s) désiré(s).

Intron : Segment du transcrit primaire d'un gène eucaryote, enlevé (avant la traduction de l'ARNm mature) par un processus connu sous le nom d'épissage des introns. Certains gènes eucaryotes contiennent un grand nombre d'introns qui constituent une partie importante de leur séquence d'ADN. Des introns sont également trouvés dans des gènes dont les ARN transcrits ne sont pas traduits, c'est à dire les gènes d'ARNr et d'ARNt eucaryotes. Dans ce cas, la séquence d'intron n'apparaît pas dans la molécule fonctionnelle d'ARN.

in vitro : À l'extérieur de l'organisme ou dans un environnement artificiel. Appliqué par exemple aux cellules, tissus ou organes cultivés dans des récipients en plastique ou en verre.

in vivo : Conditions naturelles dans lesquelles les organismes vivent. Se réfère aux processus biologiques qui ont lieu dans un organisme vivant ou dans une cellule vivante sous des conditions normales.

Lipofection : Introduction dans les cellules eucaryotes d'un ADN, d'un ARN ou d'autres composés ayant été encapsulés dans des liposomes.

Marqueur de sélection : Gène dont l'expression permet l'identification d'un caractère ou d'un gène spécifique chez un organisme.

Métabolisme : Processus biochimiques par lesquels le matériel nutritif est converti en matière vivante, ou qui aident à la formation de la matière vivante, ou par lesquels les substances complexes et les aliments sont décomposés en substances simples.

Métabolome : Complément quantitatif de toutes les molécules de faible poids moléculaire présentes dans les cellules dans un état de développement physiologique particulier.

Méthémoglobinémie : La méthémoglobinémie est causée par la capacité réduite du sang à transporter l'oxygène vital dans l'ensemble de l'organisme. Une des causes les plus courantes est la présence de nitrates dans l'eau de boisson. Elle est très importante chez les nouveau-nés nourris au biberon et l'eau des puits dans les zones rurales est un sujet de préoccupation particulière.

Méthylation : Modification chimique ajoutant des atomes (une fonction CH₃) à une molécule comme l'ADN par exemple. La méthylation peut faire taire l'expression d'un gène.

Microinjection : Introduction de petites quantités d'un matériel (généralement) liquide (ADN, ARN, enzymes, agents cytotoxiques) dans un tissu défini ou dans une cellule au moyen d'une aiguille fine et microscopique.

Mitochondrie : Organite eucaryote, siège du transport d'électrons, de la phosphorylation oxydative et de voies métaboliques telles que le cycle de Krebs; elle produit la majorité de l'énergie non photosynthétique d'une cellule en condition non aérobie.

Monoculture : Culture d'un seul produit.

Mutation : Tout changement dans le génome par rapport au type sauvage défini. Elle peut se produire au niveau de la ploïdie, du caryotype ou de la séquence de nucléotides. La plupart de ces mutations sont silencieuses (c'est-à-dire, ne peuvent pas être associées à un changement dans le phénotype), soit parce que la séquence d'ADN affectée est présente dans la partie non codante du génome, soit parce que le changement spécifique n'altère pas la fonction d'une séquence codante.

Mutation insertionnelle : Changement dans la séquence des bases d'une molécule d'ADN résultant de l'intégration aléatoire d'un ADN provenant d'une autre source.

Nitrate : Forme d'azote qui peut être directement utilisée par les plantes; un composant majeur des fertilisants inorganiques.

Nitrification : Processus naturel par lequel l'azote présent dans les déchets végétaux et animaux est oxydé premièrement en nitrites puis en nitrates, par l'action des microbes du sol.

Noyau : Région protoplasmique dense contenant les chromosomes chez les cellules eucaryotes, entourée d'une membrane qui la sépare du cytoplasme; présente dans toutes les cellules eucaryotes à l'exception des éléments matures des tubes criblés et des globules rouges du sang.

OGM (organisme génétiquement modifié) : Organisme qui a été transformé par l'insertion d'un ou de plusieurs transgènes.

Oncogène : Gène causant la croissance des cellules d'une façon incontrôlée (c.a.d. tumorale). Les oncogènes sont des formes mutantes de gènes à fonctionnement normal (appelés proto-oncogènes) et jouant un rôle dans la régulation de la prolifération cellulaire.

Organite : Structure dans ou à la surface d'une cellule ayant des fonctions spécifiques pour la cellule, comme un organe pour le corps. Région spécialisée à l'intérieur d'une cellule entourée d'une membrane, telle que la mitochondrie ou le dictyosome, et exécutant une fonction spécialisée dans la vie d'une cellule. Synonyme: organelle.

Ovocyte : Cellule mère de l'oeuf; elle subit deux divisions méiotiques (ovogenèse) pour former la cellule œuf. L'ovocyte primaire correspond à l'état avant l'achèvement de la première division méiotique et l'ovocyte secondaire à celui après l'achèvement de la première division méiotique.

Pathogène : Organisme (généralement microbien: bactéries, champignons, virus; mais peut s'étendre à d'autres organismes: ex. les nématodes, etc.) causant une maladie. Synonyme: agent infectieux.

Phénotype : Apparence visible d'un individu (concernant un ou plusieurs caractères) qui reflète la réaction d'un génotype donné avec un environnement donné.

PCR : Polymerase Chain Reaction, en anglais, ou Réaction de polymérisation en chaîne permettant de multiplier en cascade les molécules d'ADN par fragments en éprouvette, grâce à un thermocycleur et une enzyme résistante à la chaleur. On compte à chaque cycle de l'ordre de la minute trois étapes : hybridation avec les amorces, polymérisation, puis dénaturation (dissociation des brins pour autoriser la réassociation à des amorces); à chaque fois, on multiplie le nombre de copies d'ADN par deux.

Pesticides : Les pesticides comprennent les insecticides, les herbicides, et les fongicides (toxiques pour les champignons microscopiques), les raticides.

Pharmaculture (aussi appelé biopharming) : L'utilisation de plantes cultivées et d'animaux génétiquement modifiés pour produire des composés d'intérêt, particulièrement pharmaceutiques.

Phénotype : Aspect ou autres caractéristiques d'un organisme, résultant de l'interaction de sa constitution génétique et de l'environnement.

Pléiotropie : Effet simultané d'un gène donné sur plus d'un caractère qui, apparemment, ne lui est pas lié.

Pollinisation croisée : Application de pollen d'une plante à une autre pour féconder cette dernière.

Pollution génétique : Propagation non contrôlée d'information génétique (se rapportant souvent aux transgènes) dans les génomes d'organismes au sein desquels ces gènes ne sont pas présents naturellement.

Principe de précaution : L'approche par laquelle on évite tout risque possible associé à l'introduction d'une nouvelle technologie, jusqu'à ce qu'une explication complète de ses effets sur la santé, sur l'environnement, etc. soit disponible. Particulièrement appliqué en cas de mise sur le marché d'organismes génétiquement modifiés.

Procaryotes : Cellules dépourvues d'enveloppe nucléaire, d'organite cytoplasmique et de cytosquelette (souvent des bactéries).

Prolifération : Augmentation par reproduction fréquente et répétée; croissance par division des cellules.

Promoteur : Fragment du gène à la longueur difficilement définissable, commençant avant la séquence codante du gène, et se terminant à la première base qui sera transcrite en ARN. Il comporte des séquences servant à lier des protéines qui réguleront la transcription, c'est-à-dire l'expression, l'utilisation du gène. On appelle aussi « promoteur » la substance chimique assurant la promotion du cancer.

Pronucléus : Noyau haploïde d'un œuf fécondé.

Protéine recombinante : Protéine codée par un gène cloné.

Protéome : L'ensemble de protéines produites par les organismes d'une espèce donnée, dans tous leurs tissus et durant les différents stades de leur cycle de vie.

Protozoaire : Organisme microscopique unicellulaire.

Réaction de polymérisation en chaîne : voir PCR.

Recombinaison : Jonction covalente d'ADN ou d'ARN (chez les virus à ARN) normalement non adjacente. Chez les eucaryotes, des ADN recombinants peuvent être créés par échange réciproque d'ADN entre des chromatides non-sœurs d'une paire de chromosomes homologues pendant la prophase de la première division méiotique.

Recombinaison génétique : voir Recombinaison.

Recombinaison homologue : Échange de fragments d'ADN entre les deux chromatides non-sœurs du même chromosome au cours de la méiose.

Recombinant : Terme utilisé en génétique classique et moléculaire. 1. En génétique classique: un organisme ou une cellule résultant d'une recombinaison méiotique. 2. En génétique moléculaire: une molécule hybride composée d'ADN ou d'ARN obtenu à partir de différents organismes. Généralement utilisé comme adjectif, ex. ADN recombinant.

Répétitions en tandem : Deux (ou plusieurs) séquences d'ADN identiques et contiguës. L'orientation peut être tête-bêche ou bien tête-à-tête. Synonymes: arrangements d'ADN en tandem, séquences répétées en tandem.

Reprogrammation : Retour d'un noyau à un état totipotent.

Roundup : Un des herbicides totaux (ou désherbants) les plus vendus au monde, commercialisé par la compagnie Monsanto. Utilisé avec de nombreux OGM. À base de glyphosate (15 à 85% du produit selon les formulations) et d'adjuvants secrets permettant une meilleure activité, le Roundup est revendiqué comme un des herbicides les moins toxiques. Cependant, sur les bases de données internationales, de nombreuses publications scientifiques montrent la rémanence et sa toxicité. Il est connu pour perturber le métabolisme des acides aminés dits aromatiques chez les plantes.

Sélection artificielle : Pratique de sélection d'individus dans une population pour la reproduction, généralement parce que ces individus possèdent un ou plusieurs caractères désirés.

Sélection génétique : Processus de sélection de gènes, de cellules, de clones, etc. au sein d'une population ou entre des populations ou des espèces.

Séquençage d'ADN : Procédures pour déterminer la séquence en nucléotides d'un fragment d'ADN.

Séquence codante : Portion d'un gène qui spécifie directement la séquence d'acides aminés de son produit. Les séquences non codantes des gènes incluent les introns et les régions régulatrices comme les promoteurs, les opérateurs et les terminateurs.

Stéatose : Infiltration anormale de gras dans les muscles du jambon.

Stérotypie : Tendance à conserver la même attitude, à répéter le même mouvement ou les mêmes paroles.

Syndrome : Groupe de symptômes spécifiques qui se révèlent ensemble et caractérisent une maladie ou une condition génétique particulière (ex. syndrome de Down).

Toxicité : Intensité avec laquelle un composé toxique affecte négativement un caractère donné.

Traduction : Processus de synthèse des polypeptides dans lequel la séquence d'acides aminés est déterminée par l'ARNm au moyen des molécules d'ARNt et fabriquée au niveau des ribosomes.

Transcription : Synthèse d'ARN à partir d'une matrice d'ADN via l'ARN polymérase.

Transfection : Infection d'une cellule par un ADN ou ARN viral isolé, résultant dans la production de particules virales intactes.

Transduction : Transfert de gènes entre bactéries par l'intermédiaire de bactériophages.

Transfection : Processus réalisé grâce à une impulsion électrique (électroporation) ou traitement avec des agents rendant la membrane cellulaire poreuse permettant ainsi aux molécules d'ADN présentes dans le milieu de culture de traverser à l'intérieur de la cellule ou il peut être exprimé ou intégré au génome.

Transfert génétique horizontal : Transfert de matériel génétique entre des cellules ou des génomes appartenant à différentes espèces grâce à un processus autre que la reproduction sexuée.

Transfert génétique vertical : Transfert de matériel génétique des parents aux descendants; ce processus peut survenir seulement entre les espèces similaires ou étroitement liées.

Transgène : Séquence d'un gène isolée, utilisée pour transformer un organisme. Souvent, mais pas toujours, le transgène provient d'une espèce différente de celle du receveur.

Transgénèse : Processus qui aboutit, par l'insertion de transgène(s) dans un patrimoine génétique d'organisme vivant, à l'obtention d'un OGM.

Transgénique : Individu chez lequel un transgène a été intégré dans son génome. Chez les eucaryotes transgéniques, le transgène doit être transmis à travers la méiose pour permettre sa transmission à la descendance.

Transformation : Mode de transfert de gènes chez les bactéries dans lequel un morceau d'ADN est pris par une cellule bactérienne et intégré dans son génome (récepteur).

Transposition : Processus par lequel un transposon ou une séquence d'insertion s'insère dans un nouveau site de la même ou d'une autre molécule d'ADN. Le mécanisme exact n'est pas encore complètement compris et des transposons divers peuvent se transposer par différents mécanismes.

Transposon : Fragment d'ADN naturel qui se déplace et s'intègre dans le génome.

Vecteurs rétroviraux : Systèmes de transfert de gènes basés sur des virus qui ont l'ARN en tant que matériel génétique et se répliquent via une transcriptase inverse.

Xénotransplantation : Transplantation de tissus ou d'organes d'une espèce à une autre, typiquement des porcs aux humains. Le risque de zoonoses est une question importante.

Zygote : Cellule diploïde formée par la fusion de deux gamètes haploïdes pendant la fécondation chez les organismes eucaryotiques qui se reproduisent sexuellement.

LISTES DES REFERENCES

- ACIA (Agence canadienne d'inspection des aliments). 2004. *Cadre d'évaluation des risques zoosanitaires pour les animaux issus de la biotechnologie*. Ottawa : Gouvernement du Canada, 19 p. + annexes,
<<http://www.inspection.gc.ca/francais/sci/ahra/bioanima/bioanimaf.shtml>>. Modifié le 22-03-2005. Consulté le 03-08-2006.
- ACIA (Agence canadienne d'inspection des aliments). 2007. *Commentaires du gouvernement du Canada sur le document "Animal Cloning : a Draft Risk Assessment" de la USFDA*. Ottawa : Gouvernement du Canada,
<<http://www.inspection.gc.ca/francais/anima/biotech/biotechf.shtml#sum>>. Mise à jour le 17-05-2007. Consulté le 1-08-2007.
- Ajakaiye, A., R.G. Meidinger, M.Z. Fan, S.P. Golovan, J.P. Phillips, R.R. Hacker et C.W. Forsberg. 2005. «Phosphorus and calcium utilization by the G1 generation EnviropigTM lines fed a diet without supplemental inorganic phosphorus [Résumé]». *J. Anim. Sci.*, vol. 83, suppl. 1/ *J. Dairy Sci.*, vol. 88, suppl. 1,
<www.fass.org/2005/abstracts/05abs294.pdf>. Consulté le 10-10-2006.
- Altieri et Rosset. 1999. «Ten Reasons Why Biotechnology Will Not Ensure Food Security, Protect The Environment, And Reduce Poverty In The Developing World». *AgBioForum*, vol. 2, no. 3-4, art. 3, p. 155-162.
- Amanuma, K., H. Takeda, H. Amanuma et Y. Aoki. 2000. «Transgenic zebrafish for detecting mutations caused by compounds in aquatic environments». *Nat. Biotechnol.*, vol. 18, no. 1, p. 62-65.
- Anderson, J.O. 2005 «Lateral gene transfer in eukaryotes». *CMLS, Cell. Mol. Life Sci.*, vol. 62, p. 1182-1197.
- Aquabounty. 2002. <www.aquabounty.com>. Consulté le 10-11-2006.
- Arey, D. et P. Brooke. 2006. *Animal welfare aspects of good agricultural practice : pig production*. Hampshire (RU) : Compassion in World Farming Trust (CIWF), 182 p.,
<www.ciwf.org>. Consulté le 24-05-2006.
- Aubry, G. 2007. «À quand les porcheries vertes ?». *Le Soleil*, 8 janvier, p. 12.
- Baile, C.A. et M.A. Della-Fera. 2001-2002. *Potential applications of biotechnology in the pig industry*. The University of Georgia, College of Agricultural & Environmental Sciences, Department of Animal & Dairy Sciences, Annual Report, p. 206-216,
<www.cpes.peachnet.edu/ADS/ADS%20Reports/2001-2002%20REPORTS/ADSReport2001_35.pdf>. Consulté le 04-03-2006.

- BAPE (Bureau d'audiences publiques sur l'environnement). 2003a. *L'inscription de la production porcine dans le développement durable*. Rapport final, rapport 179, 251 p., <<http://www.bape.gouv.qc.ca/>>. Consulté le 10-08-2005.
- BAPE (Bureau d'audiences publiques sur l'environnement). 2003b. *L'état de la situation de la production porcine au Québec*. Rapport 179, vol. 1, 245 p., <<http://www.bape.gouv.qc.ca/>>. Consulté le 10-08-2005.
- Barrionuevo, A. 2007. «Disappearing honeybees imperil crops, keepers : Harvesters in 24 states report hive population rates have mysteriously fallen 30% to 70%». *New-York Times*, <<http://www.detnews.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20070301/BIZ/703010310/1001>> Consulté le 5-04-2007.
- Baur, B., K. Hanselmann, W. Schlimme et B. Jenni. 1996. «Genetic transformation in freshwater : Escherichia coli is able to develop natural competence». *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 62, no. 10, p. 3673-3678.
- Baur, X., S. Melching-Kollmuss, F. Koops, K. Straßburger et A. Zober. 2002. «IgE-mediated allergy to phytase – a new animal feed additive». *Allergy*, vol. 57, p. 943-945.
- Beck, U. 2003. *La société du risque : sur la voie d'une autre modernité*. Paris : Flammarion, 521 p.
- Benachour, N., H. Sipahutar, S. Moslemi, C. Travert et G.É. Séralini. 2007. «Time- and dose-dependent effects of roundup on human embryonic and placental cells». *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 53, no. 1, p. 126-133.
- Berlan, J.P., M. Hansen, P. Lannoye, S. Pons et G.É. Séralini. 2001. *La guerre au vivant*. Marseille : Agone, 166 p.
- Betthausen, J., E. Forsberg, M. Augenstein, L. Childs, K. Eilertsen, J. Enos, T. Forsythe, P. Golueke, G. Jurgella, R. Koppang, T. Lesmeister, K. Mallon, G. Mell, P. Misica, M. Pace, M. Pfister-Genskow, N. Strelchenko, G. Voelker, S. Watt, S. Thompson et M. Bishop. 2000. «Production of cloned pigs from in vitro systems». *Nat. Biotechnol.*, vol. 18, p.1055-1059.
- Bolognesi C., S. Bonatti, P. Degan, E. Gallerani, M. Peluso, R. Rabboni, P. Roggieri et A. Abbondandolo. 1997. «Genotoxic activity of glyphosate and its technical formulation Roundup». *J. Agric. Food Chem.*, vol. 45, p. 1957-1962.
- Bonhomme, F. 2003. *Analyse critique du développement durable de la production porcine au Québec*. Poisy : École Supérieure Européenne Ingénierie de l'Espace Rural. Mémoire de maîtrise, 98 p.

- Bouaïcha, N. 2001. «Impact sanitaire des toxines de cyanobactéries en milieu d'eau douce». *Revue Française des Laboratoires*, octobre, no. 336, p. 39-46.
- Bouthiller, A. 2006. «700 000 groins de plus font augmenter la grogne». *L'aut'Journal, Le Père Noël est une ordure*, no. 245, janvier, <<http://www.lautjournal.info/default.aspx>>. Consulté le 12-06-2006.
- Boutin, F. 2002. «Réponse à une question soulevée lors des séances thématiques tenues à Sainte-Marie concernant la diminution des rejets de phosphore lorsque la phytase est utilisée [PROD15]». Commission du BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec, 25 novembre, 1 page et annexes, <<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/prod-porcine/documents/prod.htm>>. Consulté le 20-11-2006.
- Brackett, B.G., W. Baranska, W. Sawicki et H. Koprowski. 1971. «Uptake of heterologous genome by mammalian spermatozoa and its transfer to ova through fertilization». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 68, no. 2, p. 353-357.
- Brambell Committee. 1965. *Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems*. Londres : Her Majesty's Stationery Office, Command report 2836.
- Brem, G. 1993. «Inheritance and tissue-specific expression of transgenes in rabbits and pigs». *Mol. Reprod. Dev.*, vol. 36, no. 2, p. 242-244.
- Bremel, R.D., E.J. Homan et T.H. Howard. 2001. «Current and future promises of transgenesis for agricultural livestock in a global marketplace». *J. Dairy Sci.*, vol. 84 (Suppl. E), p. E1-E8.
- Breton, B. 2007. «Solution incomplète». *Le Soleil*, 19 janvier, p. 20.
- Broes, A et R. Boutin. 2003. *L'antibiorésistance : que peuvent faire les producteurs de porcs?* Expo-Congrès du porc du Québec 2003, 8 décembre, 7 p. En ligne. <<http://www.vigie-viande.info/vigieviande/vviande.nsf/2161f99e5047c2b6c1256f6d00531e0e/a45c6611e667889ec1256fab00512e9b?OpenDocument>>. Consulté le 21-01-2006.
- Brophy, B., G. Smolenski, T. Wheeler, D. Wells, P. L'Huillier et G. Laible. 2003. «Cloned transgenic cattle produce milk with higher levels of β -casein and κ -casein». *Nat. Biotechnol.*, vol. 21, p. 157-162.
- CAAAQ (Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois). 2008. *Agriculture et agroalimentaire : assurer et bâtir l'avenir : Rapport de la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois*. Québec : CAAAQ, 272 p.

- Canadian University Press. 2006. «U of G Research Gets \$5 Million», <http://www.uoguelph.ca/mediareel/2006/05/u_of_g_research_5.html>. Consulté le 30-05-2006.
- Carpenter, S.R., N.F. Caraco, D.L. Correll, R.W. Howarth, A.N. Sharpley et V.H. Smith. 1998. «Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen». *Ecological Applications*, vol. 8, no. 3, p. 559-568.
- Carter, D.B., L. Lai, K.W. Park, M. Samual, J.C. Lattimer, K.R. Jordan, D.M. Estes, C. Besch-Williford et R.S. Prather. 2002. «Phenotyping of transgenic cloned piglets». *Cloning Stem Cells*, vol. 4, p. 131-145.
- Castle, D., R. Loeppky, M. Saner, C. Cline, J. Dagleish et V. Wojcik. 2006. *Convergence in biotechnology innovation : case studies and implications for regulation*. Ottawa : University of Guelph, 74 p., <<http://www.utoronto.ca/jcb/genomics/>>. Consulté le 10-04-2006.
- CCCB (Comité consultatif canadien de la biotechnologie). 2001. *Réglementation des aliments génétiquement modifiés : document de consultation 2001*. Ottawa : CCCB, 33 p., <<http://cbac-cccb.ca/epic/internet/incbac-cccb.nsf/fr/ah00203f.html>>. Consulté le 12-06-2006.
- CDPQ (Centre de développement du porc du Québec). s.d. *Test de dépistage du gène halothane*, <http://www.cdpqinc.qc.ca/nav_cdpq.asp?page=champs_dactivite/00genetique/default.htm>. Mise à jour le 25-07-2006. Consulté le 15-08-2006.
- CEE (Comité Écologie Environnement) et SATQ (Santé des AmiEs de la Terre de Québec). 2003. Mémoire présenté à la Commission du BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec, <<http://www.atquebec.org/memporc.htm>>. Consulté le 23-01-2007.
- CEST (Commission de l'éthique de la science et de la technologie du Québec). 2003. *Pour une gestion éthique des OGM : avis de la Commission de l'éthique de la science et de la technologie*. Québec : Les Publications du Québec, 117 p.
- Chan, A.W.S., E.J. Homan, L.U. Ballou, J.C. Burns et D.R. Bremel. 1998. «Transgenic cattle produced by reverse-transcribed gene transfer in oocytes». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 95, p. 14028-14033.
- Chaplin, A., A. Rule, K. Gibson, T. Buckley et K. Schwab. 2005. «Airborne Multidrug-Resistant Bacteria Isolated from a Concentrated Swine Feeding Operation». *Environ. Health Perspect.*, vol. 113, no. 2, p. 137-142.
- Chemelli, R.M., J.T. Willie, C.M. Sinton, J.K. Elmquist, T. Scammell, C. Lee, J.A. Richardson, S.C. Williams, Y. Xiong, Y. Kisanuki, T.E. Fitch, M. Nakazato, R.E.

- Hammer, C.B. Spaper et M. Yanagisawa. 1999. «Narcolepsy in orexin knockout mice : molecular genetics of sleep regulation». *Cell*, vol. 98, p. 437-451.
- Choinière, Y. et J. Munroe. 1993. *Farm Workers Health Problems Related to Air Quality Inside Livestock Barns*. Ottawa : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales. Agdex no. 400/717, Order no. 93-003, <www.gov.on.ca:80/OMAFRA/english/livestock/swine/facts/93-003.htm>. Consulté le 10-01-2006.
- Ciavatta, D.J., T.M. Ryan, S.C Farmer et T.M. Townes. 1995. «Mouse model of human beta zero thalassemia : targeted deletion of the mouse beta maj- and beta min-globin genes in embryonic stem cells». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 92, p. 9259-9263.
- CIRAIG (Centre interuniversitaire de référence sur l'analyse, l'interprétation et la gestion du cycle de vie des produits, procédés et services). 2005. <<http://www.polymtl.ca/ciraig/>>. Consulté le 5-11-2005.
- CIWF (Compassion in World Farming Trust). 2002. *The gene and the stable door : biotechnology and farm animals*. Hampshire (RU) : CIWF, 72 p., <www.ciwf.co.uk>. Consulté le 11-11-2005.
- Clark, A. 2002. Government and GMfor whom.....by whom? Présenté à l'Association Canadienne Française pour l'Avancement des Sciences (ACFAS), Université Laval, Québec, <<http://www.uoguelph.ca/plant/research/homepages/eclark/>>. Consulté le 10-08-2006.
- Clarke, T. 2001. «"Muck, glorious muck"». *Nature magazine*, 31 juillet.
- Clements, J.E., R.J. Wall, O. Narayan, D. Hauer, R. Schoborg, D. Sheffer, A. Powell, L.M. Carruth, M.C. Zink et C.E. Rexroad. 1994. «Development of transgenic sheep that express the visna virus envelope gene». *Virology*, vol. 200, no. 2, p. 370-380.
- Clements C., S. Ralph et M. Petras. 1997. «Genotoxicity of select herbicides in *Rana catesbeiana* tadpoles using the alkaline single-cell gel DNA electrophoresis (Comet) assay». *Environ. Mol. Mutagenesis*, vol. 29, p. 277-288.
- Clive, J. 2006. «Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops : 2006. Executive Summary». *ISAAA Briefs*, no. 35, <<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/35/executivesummary/default.html>> Consulté le 3-04-2007.
- CMED (Commission mondiale sur l'environnement et le développement), Rapport Brundtland. 1988. *Notre avenir à tous*. Montréal : Éditions du Fleuve/ Les Publications du Québec, 454 p.

- Coalition Eau Secours! 2003. *Avant que nous nous enlisions : pour un élevage sans danger pour l'eau*. Mémoire présenté à la Commission du BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec, 45 p.
- Cole, D., L. Todd et S. Wing. 2000. «Concentrated swine feeding operations and public health : A review of occupational and community health effects». *Environ. Health Perspect.*, vol. 108, no. 8, p. 685-699.
- Cook, J.T., M.A. McNiven, G.F. Richardson et A.M. Sutterlin. 2000. «Growth rate, body composition and feed digestibility/conversion of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*)». *Aquaculture*, vol. 188, p. 15-32.
- Cooper, G.M. 1999. *La cellule : une approche moléculaire*. Bruxelles : De Boeck Université, 674 p.
- CRDI (Centre de recherche pour le développement international). 2003. *La contamination par le mercure en Amazonie*. Ottawa : CRDI, 4 p., <http://www.crdi.ca/un_focus_sante/ev-29124-201-1-DO_TOPIC.html>. Consulté le 23-03-2005.
- CST (Conseil de la science et de la technologie). 2002. *OGM et alimentation humaine : impacts et enjeux pour le Québec*. Québec : Les Publication du Québec, 178 p., <<http://www.cst.gouv.qc.ca/OGM-et-alimentation-humaine-impact>>. Consulté le 10-06-2005.
- Dai, Y.F., T.D. Vaught, J. Boone, S.H. Chen, C.J. Phelps, S. Ball, J.A. Monahan, P.M. Jobst, K.J. McCreath, A.E. Lamborn, J.L. Cowell-Lucero, K.D. Wells, A. Colman, I.A. Polejaeva et D.L. Ayares. 2002. «Targeted disruption of the alpha 1,3-galactosyltransferase gene in cloned pigs». *Nat. Biotechnol.*, vol. 20, p. 251-255.
- Damak, S., H.Y. Su, N.P. Jay et D.W. Bullock. 1996a. «Improved wool production in transgenic sheep expressing insulin-like growth factor 1». *Bio/Technology*, vol. 14, p. 185-188.
- Damak, S., N.P. Jay, G.K. Barrell et D.W. Bullock. 1996b. «Targeting gene expression to the wool follicle in transgenic sheep» *Bio/Technology*, vol. 14, p. 181-184.
- D'Amato, L., ACFA (Alberta Cattle Feeders' Association). 2001. «"Enviropig" studies search for effects of meat on humans». *Kitchener Waterloo Record*, 3 août, <<http://cattlefeeder.ab.ca/manure/env010803.shtml>>. Consulté le 03-02-2006.
- Darier, Éric. 2007a. *Pour une agriculture écologiquement et socialement durable au Québec... ...et donc sans OGM*. Montréal: Greenpeace.
- Darier, E. 2007b. «Lettre au premier ministre Jean Charest : Rendez-nous des lacs et un gouvernement transparents!». *Le Devoir*, 29 août, p. A7.

- Das, R.C. 2001. «Production of therapeutic proteins from transgenic animals». *Biobusiness*, février, p. 60-64.
- Debailleul, G. et D. Boutin. 2004. *La sévérité de la réglementation environnementale québécoise dans le domaine des productions animales : Mythe ou réalité ?* Québec : Les Publications du Québec,
 <http://www.mddep.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/publi/severite.htm>. Consulté le 10-10-2005.
- de Haan, C. 2004. «Introduction : la prestation de service de santé animale dans un monde en changement». *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, vol. 23, no. 1, p. 21-26.
- Denault, C. 2005. *La question des OGM et la santé au filtre des sciences de l'environnement*. Université du Québec à Montréal. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, 93 p.
- Denning, C., S. Burl, A. Ainslie, J. Bracken, A. Dinnyes, J. Fletcher, T. King, M. Ritchie, W.A. Ritchie, M. Rollo, P. de Sousa, A. Travers, I. Wilmut et A.J. Clark. 2001. «Deletion of the $\alpha(1,3)$ galactosyl transferase (GGTA1) gene and the prion protein (PrP) gene in sheep». *Nat. Biotechnol.*, vol. 19, p. 559-562.
- Dion, N. 2002. *Amélioration génétique, jusqu'où irons-nous?* Texte de la présentation effectuée au symposium de la Semaine de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Consommation à l'Université Laval,
 <<http://www.agrireseau.qc.ca/porc/Documents/NicoleSAAC2002.PDF>>. Consulté le 10-03-2005.
- Domingo, J.L. 2000. «Health risks of GM foods : many opinions but few data». *Science*, vol. 288, no. 5472, p. 1748-1749.
- D'Silva, J. 2006. Adverse impact of industrial animal agriculture on the health and welfare of farmed animals. *Integrative Zoology*, vol. 1, p. 53-58.
- Durand, S. 2007. *Le saumon transgénique: une solution viable à la crise de l'aquaculture salmonicole au Canada?* Université du Québec à Montréal. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, 146 p.
- Dyck, M.K., D. Lacroix, F. Pothier et M.A. Sirard. 2003. «Making recombinant proteins in animals-different systems, different applications». *Trends Biotechnol.*, vol. 21, no. 9, p. 394-399.
- Einsiedel, E.F. 2005. «Public perceptions of transgenic animals». *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, vol. 24, no. 1, p. 149-157.
- EMA (Agence européenne du médicament). *European Medicines Agency adopts first positive opinion for a medicinal product derived from transgenic biotechnology*. Press

Release, juin, <<http://www.emea.eu.int/pdfs/general/direct/pr/20316306en.pdf>>. Consulté le 18-01-2006.

Environnement Canada. 1997. *La gestion du cycle de vie*, <<http://www.ec.gc.ca/ecocycle/fr/whatislcm.cfm>>. Mise à jour le 14-02-2003. Contenu revu le 14-02-2003. Consulté le 16-02-2005.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). s.d. Glossaire de la biotechnologie de la FAO sur Cd-rom. <http://www.fao.org/biotech/index_glossary.asp?lang=fr>. Consulté le 10-11-2006.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2006. «Les impacts de l'élevage sur l'environnement». *Focus*, <<http://www.fao.org/ag/fr/magazine/0612spl.htm>>. Consulté le 10-04-2007.

FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2006. «FDA Issues Draft Documents on the Safety of Animal Clones : Agency Continues to Ask Producers and Breeders Not to Introduce Food from Clones into Food Supply». *FDA News*, <<http://www.fda.gov/bbs/topics/NEWS/2006/NEW01541.html>>. Consulté le 23-01-2007.

FEB (Fédération Européenne de Biotechnologie). 2001. *Biodiversity : the Impact of Biotechnology*. 4 p., <http://www.efb-central.org/index.php/Main/links/C20#briefing_papers>. Consulté le 15-03-2006.

Fillion, R. 2006. «Des années d'adaptation et de modernisation dans la façon de produire». *Porc Québec*, janvier, p. 102-105.

Forsberg, C.W. 2001. «The Enviropig an environnementally friendly pig that utilizes plant phosphorus more efficiently». *World Business Newspaper*, 31 août, p. 21, <appec.biotech.or.th/pdf/CecilForsberg.pdf>. Consulté le 8-01-2006

Forsberg, C.W., J.P. Phillips, S.P. Golovan, M.Z. Fan, R.G. Meidinger, A. Ajakaiye, D. Hilborn et R.R. Hacker. 2003. «The Enviropig physiology, performance, and contribution to nutrient management advances in a regulated environment : The leading edge of change in the pork industry». *J. Anim. Sci.*, vol. 81 (Suppl. 2), p. E68-E77.

Forsberg, C.W., R.G. Meidinger, A. Ajakaiye, D.A. Murray, C. Verschoor, S.P. Golovan, J.P. Phillips, M.Z. Fan, T. Hayes, S. Walters, J.M. Kelly et R.R. Hacker. 2005a. The EnviropigTM: phosphorus nutrition, physiology and tissue composition [Résumé]. In *Meeting report and abstracts of the 2005 UC Davis Transgenic Animal Research Conference V*, sous la dir. de James D. Murray, *Transgenic Research*, vol. 15, p. 116-117.

- Forsberg, C.W., S.P. Golovan, S.P., A. Ajakaiye, J.P. Phillips, R.G. Meidinger, M.Z. Fan, J.M. Kelly et R.R. Hacker. 2005b. «Genetic opportunities to enhance sustainability of pork production in developing countries : A model for food animals», pp. 429-446. In *Applications of gene-based technologies for improving animal production and health in developing countries*, Makkar H.P.S. et G.J. Viljoen (eds.). Dordrecht : Springer, <<http://www.springerlink.com/content/x624210307713521/>>. Consulté le 10-11-2006.
- Foulds, C. 2005. «Suivi du plan d'action agroenvironnemental en production porcine». *Porc Québec*, août, p. 41-42.
- FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec). s.d. <<http://www.leporcduquebec.qc.ca/index.php>>. Consulté le 20-11-2006.
- FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec). 2002a. *Mise en oeuvre de l'écoconditionnalité dans la production porcine au Québec* [ECON8]. Annexe 5. Mémoire présenté à la Commission du BAPE sur le développement durable de la production porcine au Québec, 21 p. et annexes, <www.bape.gouv.qc.ca>. Consulté le 31-02-2006.
- FPPQ (Fédération des producteurs de porcs du Québec). 2002b. *Régie alimentaire pour réduire les rejets d'azote et de phosphore*. Plans des interventions agroenvironnementales de la FPPQ, 8 p. <<http://www.agrireseau.qc.ca/Porc/navigation.aspx?pid=365&sid=7&r=&p=5>>. Consulté le 17-04-2007.
- Francoeur, L.G. 2005a. «Citoyens et producteurs de porcs s'affrontent déjà». *Le Devoir*, 22 décembre, p. A2.
- Francoeur, L.G. 2005b. «Le compte à rebours est commencé». *Le Devoir*, 25 janvier, p. A1.
- Francoeur, L.G. 2007. «Le Québec entre de plain-pied dans la carburoculture». *Le Devoir*, 19 mai, p. A1.
- Free patent online. 2006. *Transgenic animals expressing salivary proteins*. United States Patent 7115795, <<http://www.freepatentsonline.com/7115795.html>>. Filing Date : 04-20-2000. Publication Date : 03-10-2006. Consulté le 2-02-2007.
- Fujii, T. 1997. «Transgenerational effects of maternal exposure to chemicals on the functional development of the brain in the offspring». *Cancer Causes and Control*, vol. 8, p. 524-528.
- Gagné, S. 1995. «Les sept péchés capitaux du maïs». *Francvert*, vol. 12, no. 3, p. 27-31.
- Gauthier, E. 1999. Plus de 100 ans de sélection génétique en production porcine : succès d'hier et défis de demain... *Porc Québec*, no. spécial génétique, 2 septembre.

- Gendron, C. et J.P. Revérêt. 2000. «Le développement durable». *Économies et Sociétés*, no. 37, p. 111-124.
- Gene Watch et Greenpeace. 2005. *GM Contamination Report 2005 : A review of cases of contamination, illegal planting and negative side effects of genetically modified organisms*, <<http://www.gmcontaminationregister.org/>>. Consulté le 12-08-2006.
- GeneWatch UK et Greenpeace International. 2007. *Contamination register second report published*, <http://www.gmcontaminationregister.org/index.php?content=nw_detail1>. Consulté le 29-03-2007.
- Gilchrist, M.J., C. Greko, D.B. Wallinga, G.W. Beran, D.G. Riley et P.S. Thorne. 2007. «The potential role of concentrated animal feeding operations in infectious disease epidemics and antibiotic resistance». *Environ. Health Perspect.*, vol. 115, no. 2. p. 313-316.
- Glofish®. s.d. <<http://www.glofish.com/>>. Consulté le 10-07-2007.
- Golovan, S.P., R.G. Meidinger, A. Ajakaiye, M. Cottrill, M.Z. Wiederkehr, D.J. Barney, C. Plante, J.W. Pollard, M.Z. Fan, M.A. Hayes, J. Laursen, J.P. Hjorth, R.R. Hacker, J.P. Phillips et C.W. Forsberg. 2001a. «Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure». *Nat. Biotechnol.*, vol. 19, p. 741-745.
- Golovan, S.P., R.G. Meidinger, A. Ajakaiye, M. Cottrill, M.Z. Wiederkehr, D.J. Barney, C. Plante, J.W. Pollard, M.Z. Fan, M.A. Hayes, J. Laursen, J.P. Hjorth, R.R. Hacker, J.P. Phillips et C.W. Forsberg. 2001b. «Research Corrigenda. Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure». *Nat. Biotechnol.*, vol. 19, p. 979.
- Gong, Z., B. Ju, X. Wang, J. He, H. Wan, P.M. Sudha et T. Yan. 2002. «Green fluorescent protein expression in germ-line transmitted transgenic zebrafish under a stratified epithelial promoter from *Keratin8*». *Developmental Dynamics*, vol. 223, p. 204-215.
- Gordon, J.W., G.A. Scangos, D.J. Plotkin, J.A. Barbosa et F.H. Ruddle. 1980. «Genetic transformation of mouse embryos by microinjection of purified DNA». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 77, no. 12, p. 7380-7384.
- Gouvernement du Canada. 2000. Réponse des ministères et organismes fédéraux aux nommés dans la pétition déposée le 9 mai 2000 par Sierra Legal Defence Fund en vertu de la loi sur le vérificateur général : Examen des lois, des règlements et des politiques fédéraux sur les organismes génétiquement modifiés, <<http://www.oag-bvg.gc.ca/domino/petitions.nsf/view1.0/4C05758DA08017AF85256C5600689B65#ms1>>. Consulté le 23-04-2005.
- Greenpeace. 2004. *Résumé des sondages sur les OGM au Québec et au Canada 1994-2004*. 27 septembre, 1 p., <<http://www.greenpeace.org/canada/fr/documents-et-liens/documents/ogm-les-canadiens-et-canadien>>. Consulté le 10-05-2005.

- Greenpeace. 2005a. *Pétition n° 152 – Accès sans restriction à l'information utilisée lors de la prise de décision concernant les organismes génétiquement modifiés*. Ottawa : Bureau du vérificateur général du Canada, <<http://www.oag-bvg.gc.ca/domino/petitions.nsf/viewF1.1/888640F031AF63B7852570DD006BEAFC>>. Consulté le 27-04-2006.
- Greenpeace. 2005b. *Monsanto files patent for new invention : the pig*, <<http://www.greenpeace.org/international/news/monsanto-pig-patent-111>>. Consulté le 2-04-2007.
- Grondin, N. 2003. *Le colza (canola) transgénique au Canada : Bouquiner risques environnementaux de flux génétiques*. Université du Québec à Montréal. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement.
- Guelph Transgenic Pig Research Program. s.d. <<http://www.uoguelph.ca/enviropig/>>. Consulté le 02-11-2005.
- Hammer, R.E., V.G. Pursel, C.E. Rexroad Jr., R.J. Wall, D.J. Bolt, K.M. Ebert, R.D. Palmiter et R.L. Brinster. 1985. «Production of transgenic rabbits, sheep and pigs by microinjection». *Nature*, vol. 315, no. 6021, p. 680-683.
- Harper, A.F., E.T. Kornegay et T.C. Schell. 1997. «Phytase supplementation of low-phosphorus growing-finishing pig diets improves performance, phosphorus digestibility, and bone mineralization and reduces phosphorus excretion». *J. Anim. Sci.*, vol. 75, p. 3174-3186.
- Heederik D., T. Sigsgaard, P.S. Thorne, J.N. Kline, R. Avery, J.H. Bonlokke, E.A. Chrischilles, J.A. Dosman, C. Duchaine, S.R. Kirkhorn, K. Kulhankova et J.A. Merchant. 2007. «Health effects of airborne exposures from concentrated animal feeding operations.» *Environ. Health Perspect.*, vol. 115, no. 2, p. 298-302.
- Herriges, Joseph A., Silvia Secchi et Bruce A. Babcock. 2005. «Living with hogs in Iowa: the impact of livestock facilities on rural residential property values». *Land Economics*, vol. 81, no. 4, p. 530-545.
- Higashijima, S., H. Okamoto, N. Ueno, Y. Hotta et G. Eguchi. 1997. «Highfrequency generation of transgenic zebrafish which reliably express GFP in whole muscles or the whole body by using promoters of zebrafish origin». *Dev. Biol.*, vol. 192, p. 289-299.
- Ho, M.W. 2005. *Immune reactions to transgenic protein serious*. The Independent Science Panel, <<http://www.indsp.org/TransgenicPea.php>>. Consulté le 10-06-2006.
- Honey, K. 1999. «These little piggies are a scientific marvel : Canadian scientists' 'Enviropigs' cause less pollution». *Globe and Mail*, 23 juin, p. A1, <<http://www.ucalgary.ca/~pubconf/Media/piggies.htm>>. Consulté le 31 mars 2005.

- Horrigan, L., R.S. Lawrence et P. Walker. 2002. «How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture». *Environ. Health Perspect.*, vol. 110, no. 5, p. 445-456.
- Houdebine, L.M. 1998. *Les animaux transgéniques*. Paris : Technique et documentation/ Cachan : Éditions médicales internationales, 181 p.
- Houdebine, L.M. 2004. «Les effets sanitaires potentiels des organismes génétiquement modifiés. *Environnement, Risques & Santé*, vol. 3, no. 6, p. 341-352, <<http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/print/e-docs/00/04/07/55/article.md>>. Consulté le 2-08-2006.
- Houdebine, L.M. et J.P. Renard. 2005. «Confinement et consommation des animaux clonés et transgéniques». *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, vol. 24, no. 1, p. 265-274.
- H.P. 2004. «Les biologistes n'ont peut-être pas la clé». *Science & Vie*, no. 1047, p. 52-56.
- Hufty, M. 2001. «La gouvernance internationale de la biodiversité». *Études internationales*, vol. 32, no. 1, p. 5-29, <<http://www.nccr-north-south.unibe.ch/document/document.asp?ID=357&refTitle=the%20NCCR%20North-South&Context=NCCR&subcon=Pub>>. Consulté le 22-02-2005.
- Husain, M, D. Carter, Y. Mine, G.M. Kirby et S.P. Golovan. 2006. «Development of transcriptome and proteome based biomarkers for the detection of potential allergens in novel foods [Résumé d'affiche]». In *Plant & Animal Genomes XIV Conference* (San Diego, 14-18 janvier 2006), <http://www.intl-pag.org/14/abstracts/PAG14_P576.html>. Consulté le 11-08-2006.
- Issac, G.E. et J.E. Hobbs. 2002. «La réglementation des aliments génétiquement modifiés au Canada». *Isuma*, vol. 3, no. 2, p. 108-117.
- ISQ (Institut de la statistique du Québec). 2006. *Agroflash*, 25 septembre, <www.stat.gouv.qc.ca>. Consulté le 15-01-2007.
- ISQ (Institut de la statistique du Québec). 2007. *Agroflash*, 26 mars, <www.stat.gouv.qc.ca>. Consulté le 12-04-2007.
- Jaenisch, R. 1976. «Germ line integration and mendelian transmission of the exogenous Moloney leukemia virus». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 73, p. 1260-1264.
- Jentzsch, C. (2007). *Brevet pour le porc*. Production HTTV/WDR. Documentaire.
- Kale, P.G., B.T.Jr. Petty, S. Walker, J.B. Ford, N. Dehkordi, S. Tarasia, B.O. Tasie, R. Kale et Y.R. Sohni. 1995. «Mutagenicity testing of nine herbicides and pesticides currently used in agriculture». *Environ. Mol. Mutagen.*, vol. 25, p. 148-153.

- Kam, D.K., H.-S. Jun, J.K. Ha, G.D. Inglis et C.W. Forsberg. 2005. «Characteristics of adjacent family 6 acetylxytan esterases from *Fibrobacter succinogenes* and the interaction with the Xyn10E xylanase in hydrolysis of acetylated xylan». *Can. J. Microbiol.*, vol. 51, p. 821-832.
- Kamel, F. et J.A. Hoppin. 2004. «Association of Pesticide Exposure with Neurologic Dysfunction and Disease». *Environ. Health Perspect.*, vol. 112, no. 9, p. 950-958.
- Karatzas, C.N., J.F. Zhou, Y. Huang, F. Duguay, N. Chretien, B. Bhatia, A. Bilodeau, R. Keystone, T. Tao, C.L. Keefer, B. Wang, H. Baldassare et A. Lazaris. 1999. «Production of recombinant spider silk [BiosteelTM] in the milk of transgenic animals». *Transgenic Res.*, vol. 8, p. 476-477.
- Katsumata, S.I., H. Matsuzaki, M. Uehara et K. Suzuki. 2006. «Effects of lowering food intake by high phosphorus diet on parathyroid hormone actions and kidney mineral concentration in rats». *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 70, no. 2, p. 528-531.
- Kochhar, H.P.S., G. Adlakha-Hutcheon et B.R. Evans. 2005. «Regulatory considerations for biotechnology-derived animals in Canada». *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.*, vol. 24, no. 1, p. 117-125.
- Kocchar, H.P.S. et B.R. Evans. 2007. «Current status of regulating biotechnology-derived animals in Canada : animal health and food safety considerations». *Theriogenology*, vol. 67, p. 188-197.
- Kornegay, E.T. et H. Qian. 1996. «Replacement of inorganic phosphorous by microbial phytase for young pigs fed a maize-soyabean-meat diet». *Br. J. Nutr.*, vol. 76, p. 563-578.
- Krimpenfort P., A. Rademakers, W. Eyestone, A. van der Schans, S. van den Broek, P. Kooiman, E. Kootwijk, G. Platenburg, F. Pieper, R. Strijker et H. de Boer. 1991. «Generation of transgenic dairy cattle using in vitro embryo production». *Biotechnology*, vol. 9, no. 9, p. 844-847.
- Kruip, T.A.M. et C.G. Van Reenen. 2000. «New biotechniques and their consequences for farm animal welfare». *Reprod. Dom. Anim.*, vol. 35, p. 247-252.
- Kues, W.A. et H. Niemann. 2004. «The contribution of farm animals to human health». *Trends Biotechnol.*, vol. 22, no. 6, p. 286-294.
- Lacombe, R. 2006. «15,2 M \$ pour aider les producteurs de porcs». *Le Soleil*, 24 novembre, p. 43.
- Lai, L., D. Kolber-Simonds, K.W. Park, H.T. Cheong, J.L. Greenstein, G.S. Im, M. Samuel, A. Bonk, A. Rieke, B.N. Day, C.N. Murphy, D.B. Carter, R.J. Hawley et R.S. Prather.

2002. «Production of α -1,3-Galactosyltransferase knockout pigs by nuclear transfer cloning». *Science*, vol. 295, no. 5557, p. 1089-1092.
- Lai, L., J.X. Kang, R. Li, J. Wang, W.T. Witt, H.Y. Yong, Y. Hao, D.M. Wax, C.N. Murphy, A. Rieke, M. Samuel, M.L. Linville, S.W. Korte, R.W. Evans, T.E. Starzl, R.S. Prather et Y. Dai. 2006. «Generation of cloned transgenic pigs rich in omega-3 fatty acids». *Nat. Biotechnol.*, vol. 24, no. 4, p. 435-436.
- Larivière, T. 2001. «Des porcs écologiques». *La terre de chez nous*, août.
- La semaine verte. 2006a. *Un virus parmi les porcs*. Montréal : Société Radio-Canada, 5 mars.
- La semaine verte. 2006b. *L'alarme dans les fermes porcines*. Montréal : Société Radio-Canada, 23 avril.
- La semaine verte. 2006c. *La fin du circovirus?* Montréal : Radio-Canada, 3 décembre.
- Laurin, M.C. 2006. «Les pesticides : une bombe à retardement pour la santé humaine». *FrancVert*, vol. 3, no. 2, p. 30-32.
- Laurin, M.C. 2007. *Études biologiques et toxicologiques de pesticides sur *Anystis baccarum* (L.), analyse critique des dispositifs d'évaluation de la toxicité des pesticides et état des connaissances des agences de réglementation sur deux pesticide hautement toxiques sur le prédateur étudié*. Université du Québec à Montréal. Mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, 214 p.
- Lebel, J. 2003. *La santé: une approche écosystémique*. Ottawa : Centre de recherches pour le développement international (CRDI), 100 p., <<http://web.idrc.ca/openbooks/013-6/>>. Consulté le 19-11-2005.
- Lee, J.W., S.C. Wu, X.C. Tian, M. Barber, T. Hoagland, J. Riesen, K.U. Lee, C.F. Tu, W.T.K. Cheng et X. Yang. 2003. «Production of cloned pigs by whole-cell intracytoplasmic microinjection». *Biology of Reproduction*, vol. 69, p. 995-1001.
- Legault, R. 2006. «Le moratoire sur les OGM viendra des citoyens!». *Le Devoir*, 20 février, p. A7.
- Lenis, N.P. et A.W. Jongbloed. 1999. «New technologies in low pollution swine diets: Diet manipulation and use of synthetic amino acids, phytase and phase feeding for reduction of nitrogen and phosphorus excretion and ammonia emission». *Asian-Aus. J. Anim. Sci.*, vol. 12, no. 305-327.
- Les Amis de la Terre Internationale. 2004. *Plantes génétiquement modifiées – une décennie d'échecs [1994-2004]*. Penang (Malaisie) : Amis de la Terre International, 52 p., <<http://www.foei.org/fr/publications/index.htm>>. Consulté le 7-07-2006.

- Lewin, B. 1999. *Gènes VI*. Paris : De Boeck Université, 1268 p.
- Liu-Stratton, Y., R. Sashwati et C.K. Sen. 2004. «DNA microarray technology in nutraceutical and food safety». *Toxicology Letters*, vol. 150, p. 29-42.
- Logar, N. et L.K. Pollock. 2005. «Transgenic fish : is a new policy framework necessary for a new technology?» *Environmental Science & Policy*, vol. 8, p. 17-27.
- Maga, E.A. 2005, «Genetically engineered livestock : closer than we think?». *Trends Biotechnol.*, vol. 23, no. 11, p. 533-535.
- Malatesta, M., C. Caporaloni, S. Gavaudan, M.B.L. Rocchi, S. Serafini, C. Tiberi et G. Gazzanelli. 2002. «Ultrastructural Morphometrical and Immunocytochemical Analyses of Hepatocyte Nuclei from Mice Fed on Genetically Modified Soybean». *Cell Struct. Funct.*, vol. 27, p. 173-180.
- Malatesta M., M. Biggiogera, F. Manuali, M.B. Rocchi, B. Baldelli et G. Gazzanelli. 2003. «Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on genetically modified soybean». *Eur. J. Histochem.*, vol. 47, p. 385-388.
- Mallin, M.A. et L.B. Cahoon. 2003. «Industrialized Animal Production – A Major Source of Nutrient and Microbial Pollution to Aquatic Ecosystems». *Population and Environment*, vol. 24, no. 5, p. 369-385.
- MAPAQ (Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec). 1995. *Le développement durable, pour la suite des choses*. Québec : Les publications du Québec, 25 p.
- Marshall, B., D. Petrowski et S.B. Levy. 1990. «Inter- and intraspecies spread of *Escherichia coli* in a farm environment in the absence of antibiotic usage». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 87, p. 6609-6613.
- Marutle, A., M. Ohmitsu, M. Nilbratt, N.H. Greig, A. Nordberg et K. Sugaya. 2007. «Modulation of human neural stem cell differentiation in Alzheimer (APP23) transgenic mice by phenserine». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 104, no. 30, p. 12506-12511.
- Massari, S. 2000. «Current food consumption patterns and global sustainability : discussion paper». Programme des nations unies pour l'environnement, Sustainable agri-food production and consumption forum, 42 p., <www.agrifood-forum.net/issues/consumption/doc/agri-consumption.pdf>. Consulté le 22-05-2005.
- Massoud, M., J. Attal, D. Thépot, H. Pointu, M.G. Stinnakre, M.C. Théron, C. Lopez et L.M. Houdebine. 1996. «The deleterious effects of human erythropoietin gene driven by the rabbit whey acidic protein gene promoter in transgenic rabbits». *Reprod. Nutr. Dev.*, vol. 36, no. 5, p. 555-563.

- Maus, J. 2004. «It's safety first for the Enviropig™ : Researchers are testing meat from this novel technology to ensure its safety». *Pigs, Pork and Progress*, vol. 1, printemps, p. 24.
- Mawdsley, J.L., R.D. Bardgett, R.J. Merry, B.F. Pain et M.K. Theodorou. 1995. «Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environment pollution». *Applied Soil Ecology*, vol. 2, p. 1-15.
- MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). 2002. *La qualité de l'eau et les usages récréatifs*. Québec : Les Publications du Québec, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/recreative/consequence.htm>>. Consulté le 23-05-2007.
- MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). 2005. *Capacité de support des activités agricoles par rivières : le cas du phosphore total*. Québec: Les Publications du Québec, 28 p., <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/capacite-phosphore.pdf>>. Consulté le 20-04-2006.
- MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs). 2006. *Protection de l'environnement en milieu agricole : MM. Yvon Vallières, Claude Béchard et Laurent Pellerin lancent le Plan d'action concerté sur l'agroenvironnement et la cohabitation harmonieuse 2007-2010*. Québec, Communiqué de presse, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/Infuseur/communiqué.asp?no=1032>>. Consulté le 25-03-2007.
- MEF (Ministère de l'Environnement et de la Faune). 1996. *Mise en oeuvre d'action 21 : exemples d'initiatives du gouvernement du Québec en matière de développement durable*. Québec : Les publications du Québec, 104 p.
- Megget, K. 2007. «Milking transgenic rabbits gets approval». *In-Pharma Technologist*, 16 juillet, <<http://www.in-pharmatechnologist.com/news/printNewsBis.asp?id=78196>>. Consulté le 16-07-2007.
- Meidinger, R.G., A. Ajakaiye, D. Murray, S.P. Golovan, M.Z. Fan, J.P. Phillips, J. Zhang, R.R. Hacker, J.M. Kelly et C.W. Forsberg. 2005. «Hematology and Biochemistry of Enviropig™». *J. Anim. Sci.*, vol. 83 (Suppl. 1), p. 69, <www.aps.rogueph.ca/Swine-Report2005/Article-2.pdf>. Consulté le 2-02-2006.
- MENV (Ministère de l'Environnement), Direction des politiques du secteur agricole. 2003. *Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec*. Québec : Les publications du Québec, 143 pages.
- Mizuarai, S., K.I. Ono, K. Yamaguchi, K.I. Nishijima, M. Kamihira et S. Iijima. 2001. «Production of Transgenic Quails with High Frequency of Germ-Line Transmission Using VSV-G Pseudotyped Retroviral Vector». *Biochemical and Biophysical Research Communications*, vol. 286, no. 3, p. 456-463.

- Moreau, P. et L.T. Jordan. 2005. «A framework for the animal health risk analysis of biotechnology-derived animals : a Canadian perspective». *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.*, vol. 24, no. 1, p. 51-60.
- MSSS (Ministère de la Santé et des Services sociaux). 2007. *Algues bleu-vert*. <http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?algues_bleu-vert>. Consulté le 20-04-2007.
- Muir, W.M et R.D. Howard. 2002. «Assessment of possible ecological risks and hazards of transgenic fish with implications for other sexually reproducing organisms». *Transgenic Res.*, vol. 11, no. 2, p. 101-114.
- Munro, M. 2007. «Seed stranded in Chile underscores quandary on genetic modifications». *CanWest News Service*, 28 avril.
- Murray, D., R.G. Meidinger, S.P. Golovan, J.P. Phillips, I.P. O'Halloran, M.Z. Fan, R.R. Hacker et C.W. Forsberg. 2007. «Transgene and mitochondrial DNA are indicators of efficient composting of transgenic pig carcasses». *Bioresource Technology*, vol. 98, p. 1795-1804.
- Naruse, K., H. Ishikawa, H.O. Kawano, H. Ueda, M. Kurome, K. Miyazaki, M. Endo, T. Sawasaki, H. Nagashima et M. Makuuchi. 2005. «Production of a transgenic pig expressing human albumin and enhanced green fluorescent protein». *Journal of Reproduction and Development*, vol. 51, no. 4, p. 539-546.
- NAS (National Academy of Science). 2002. *Animal Biotechnology : Science-Based Concerns*. Washington (DC) : National Academies Press, 181 p.
- NAS (National Academy of Sciences). 2004. *Safety of Genetically Engineered Foods : Approaches to Assessing Unintended Health Effects*. Washington (DC) : National Academies Press, <<http://lab.nap.edu/nap/cgi/discover.cgi?term=transgenic&restric=NAP>>. Consulté le 02-02-2006.
- Neskovic, N.K., V. Poleksic, I. Elezovic, V. Karan et M. Budimir. 1996. «Biochemical and histopathological effects of glyphosate on carp, *Cyprinus carpio* L.». *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 56, p. 295-302.
- Nexia Biotechnologies, <http://www.nexiabiotech.com/en/01_tech/01-bst.php>. Consulté le 6-04-2007.
- Nicolino, F. et F. Veillerette. 2007. *Pesticides : Révélation sur un scandale français*. Paris : Fayard, 384 p.
- Niemann, H., W. Kues et J.W. Carnwath. 2005. «Transgenic farm animals : present and future». *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, vol. 24, no. 1, p. 285-298.

- Nijsten R., N. London, A. van den Bogaard et E. Stobberingh. 1996. «In-vitro transfer of antibiotic resistance between faecal *Escherichia coli* strains isolated from pig farmers and pigs». *J. Antimicrob. Chemother.*, vol. 37, p.1141-1154.
- Noble, M.S., S. Rodriguez-Zas, J.B. Cook, G.T. Bleck, W.L. Hurley et M.B. Wheeler. 2002. «Lactational performance of first-parity transgenic gilts expressing bovine alpha-lactalbumin in their milk. *J. Anim. Sci.*, vol. 80, p. 1090-1096.
- NRC (National Research Council). 1998. *Nutrient Requirements of Swine*, 10^e éd. Washington (DC) : National Academy Press, 210 p., <<http://darwin.nap.edu/books/0309059933/html>>. Consulté le 10-08-2006.
- OAQ (Ordre des agronomes du Québec). 2005. *Équilibre, bien-être, réciprocité : les mots-clés d'une agriculture durable dans une société durable!* Mémoire produit dans le cadre de la consultation publique sur le projet de Plan de développement durable du Québec, 23 p., <<http://www.oaq.qc.ca/memoires.asp#>>. Consulté le 10-10-2005.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 1993. *Évaluation de la sécurité des denrées alimentaires issues de la biotechnologie moderne : concepts et principes*. Paris : OCDE, 86 p.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2003. *Agriculture, échanges et environnement : le secteur porcin*. Paris : OCDE, 205 p.
- Olesen, I., A.F. Groen et B. Gjerde. 1999. «Definition of animal breeding goals for sustainable production systems». *American Society of Animal Science*, vol. 78, p. 570-582.
- Onishi, A., M. Iwamoto, T. Akita, S. Mikawa, K. Takeda, T. Awata, H. Hanada et A.C. Perry. 2000. «Pig cloning by microinjection of fetal fibroblast nuclei». *Science*, vol. 18, no. 5482, p. 1188-1190.
- Ouellet, M., J. Bonin, J. Rodrigue, J.L. DesGranges et S. Lair. 1997. «Hindlimb deformities (ectromelia, ectrodactyly) in free-living anurans from agricultural habitats». *J. Wildl. Dis.*, vol. 33, no. 1, p. 95-104.
- Palmiter, R.D., R.L. Brinster, R.E. Hammer, M.E. Trumbauer, M.G. Rosenfeld, N.C. Birnberg et R.M. Evans. 1982. «Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein growth hormone fusion genes». *Nature*, vol. 300, p. 611-615.
- Paquette, E. 2004. «Des poissons génétiquement colorés». *Les Echos*, no. 19292, p. 26.
- Parent, K. et L. Vandelac. 1999. *Main basse sur les genes*. Office national du film du Canada, Studio Sciences et société, Production Éric Michel, 52 min.

- Patience, C., Y. Takeuchi et R.A. Weiss. 1997. «Infection of human cells by an endogenous retrovirus of pigs». *Nat. Med.*, vol. 3, no. 3, p. 282-286.
- PC (Presse canadienne). 2006. «Les producteurs de porcs réclament de l'aide : 270 000 porcs décimés par un virus». *La Presse*, 17 octobre, p. A16.
- Pearson, H. 2006. «Genetics : what is a gene ?». *Nature*, vol. 441, no. 7092, p. 398-401.
- Peluso, M., A. Munnia, C. Bolognesi et S. Parodi. 1998. «³²P-postlabeling detection of DNA adducts in mice treated with the herbicide Roundup». *Environ. Mol. Mutagen*, vol. 31, p. 55-59.
- Petters, R.M., C.A. Alexander, K.D. Wells, E.B. Collins, J.R. Sommer, M.R. Blanton, G. Rojas, Y. Hao, W.L. Flowers, E. Banin, A.V. Cideciyan, S.G. Jacobson et F. Wong. 1997. «Genetically engineered large animal model for studying cone photoreceptor survival and degeneration in retinitis pigmentosa». *Nat. Biotechnol.*, vol. 15, p. 965-970.
- Phelps, C.J., C. Koike, T.D. Vaught, J. Boone, K.D. Wells, S.H. Chen, S. Ball, S.M. Specht, I.A. Polejaeva, J.A. Monahan, P.M. Jobst, S.B. Sharma, A.E. Lamborn, A.S. Garst, M. Moore, A.J. Demetris, W.A. Rudert, R. Bottino, S. Bertera, M. Trucco, T.E. Starzl, Y. Dai et D.L. Ayares. 2003. «Production of alpha 1,3-galactosyltransferase-deficient pigs». *Science*, vol. 299, no. 5605, p. 411-414.
- Phillips, T.M., S.P. Golovan, R.G. Meidinger, A. Ajakaiye, M. Cottril, J. Bowman, M.Z. Fan, M.A. Hayes, R.R. Hacke et C.W. Forsberg. 2002. *Development of The EnviropigTM : A simple, cost-effective approach for meeting nutrient-management requirements for reducing manure-based environmental phosphorus pollution*. Poultry Science Association, <<http://www.poultryscience.org/>>. Consulté le 2-02-2007.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement). 1992. Convention sur la diversité biologique [CDB]. In *Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement* [CNUED], Rio de Janeiro.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement). 2004. *Pourquoi l'approche cycle de vie?* Paris : Publications Nations Unies, 24 p., <<http://www.uneptie.org/pc/sustain/lcinitiative/publications.htm>>. Consulté le 22-10-2006.
- Pohajdak, B., M. Mansour, O. Hrytsenko, J.M. Conlon, L.C. Dymond et J.R. Wright Jr. 2004. «Production of transgenic Tilapia with Brockmann bodies secreting [desThrB30] human insulin». *Transgenic Res.*, vol 13, p. 313-323.
- Polejaeva, I.A., S.H. Chen, T.D. Vaught, R.L. Page, J. Mullins, S. Ball, Y. Dai, J. Boone, S. Walker, D.L. Ayares, A. Colman et K.H.S. Campbell. 2000. «Cloned pigs produced by nuclear transfer from adult somatic cells». *Nature*, vol. 407, p. 86-90.

- Pollack, A. 2007. «FDA finally tackling rules for genetically altered food : Industry seeking tough standards, in hopes they will instill confidence in investors. *The New York Times*, 30 juillet.
- Prescott, L.M., J.P. Harley et D.A. Klein. 1995. *Microbiologie*, 2^e éd. Bruxelles : De Boeck & Larcier S.A., 1014 p.
- Preston, C. 2005. «Peer Reviewed Publications on the Safety of GM Foods». *AgBioWorld*, <<http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/biotech-art/peer-reviewed-pubs.html>>. Consulté le 14-03-2006.
- Pryme, I.F. et R. Lembcke. 2003. «In vivo studies on possible health consequences of genetically modified food and feed—with particular regard to ingredients consisting of genetically modified plant materials». *Nutr. Health*, vol. 17, p. 1-8.
- Pursel, V.G., C.A. Pinkert, K.F. Miller, D.J. Bolt, R.G. Campbell, R.D. Palmiter, R.L. Brinster et R.E. Hammer. 1989. «Genetic engineering of livestock». *Science*, vol. 244, no. 4910, p. 1281-1288.
- Pursel, V.G., R.E. Hammer, D.J. Bolt, R.D. Palmiter et R.L. Brinster. 1990. «Integration, expression and germ-line transmission of growth-related genes in pigs». *J. Reprod. Fert.*, (Suppl.), vol. 41, p. 77-87.
- Pursel, V.G., P. Suttrave, R.J. Wall, A.M. Kelly et S.H. Hugues. 1992. «Transfer of c-SKI gene into swine to enhance muscle development». *Theriogenology*, vol. 37, p. 278.
- Pursel, V.G. et C.E. Rexroad Jr. 1993. «Status of research with transgenic farm animals». *J. Anim. Sci.*, vol. 71, p. 10-19.
- Pursel, V.G., R.J. Wall, M.B. Solomon, D.J. Bolt, J.E. Murray et K.A. Ward. 1997. «Transfer of an ovine metallothionein-ovine growth hormone fusion gene into swine». *J. Anim. Sci.*, vol. 75, no. 8, p. 2208-2214.
- Qi, M., K.E. Nelson, S.C. Daugherty, W.C. Nelson, I.R. Hance, M. Morrison et C.W. Forsberg. 2005. «Novel Molecular Features of the Fibrolytic Intestinal Bacterium *Fibrobacter intestinalis* Not Shared with *Fibrobacter succinogenes* as Determined by Suppressive Subtractive Hybridization». *J. Bacteriol.*, vol. 187, no. 11, p. 3739-3751.
- Québec. s.d. *Importance des cultures gm*, <<http://www.ogm.gouv.qc.ca/ogm/importance.html>>. Consulté le 08-08-2008.
- Québec. 2006. *Règlement sur les exploitations agricoles*. <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R11_1.htm>. Dernière version disponible le 29-12-2006. Consulté le 29-01-2007.

- Québec. 2007. *Le gouvernement lance une offensive concertée de protection de nos lacs et rivières*. Québec, Communiqué, 4 juin, <<http://www.premier-ministre.gouv.qc.ca/salle-de-presse/communiques/2007/juin/2007-06-04.shtml>>. Consulté le 20-06-2007.
- Rexroad, C.E.Jr., R.E. Hammer, R.R. Behringer, R.D. Palminter et R.L. Brinster. 1990. «Insertion, expression and physiology of growth-regulating genes in ruminants». *J. Reprod. Fert. (Suppl.)*, vol. 41, p. 119-124.
- Rifkin, J. 1998. *Le siècle biotech : le commerce des gènes dans le meilleur des mondes*. Montréal : Boréal, 347 p.
- Roch, G. 2004. «Modifier l'alimentation des porcs pour réduire les odeurs». *Porc Québec*, juin, <www.agrireseau.qc.ca>. Consulté le 18-10-2006.
- Rutovitz, J. et S. Mayer. 2002. *Genetically modified and cloned animals. All in a good cause?* Gene Watch UK, 95 p., <www.genewatch.org/GManimals/Reports/GManimalsRept.pdf>. Consulté le 23-03-2006.
- Saeki, K., K. Matsumoto, M. Kinoshita, I. Suzuki, Y. Tasaka, K. Kano, Y. Taguchi, K. Mikami, M. Hirabayashi, N. Kashiwazaki, Y. Hosoi, N. Murata et A. Iritani. 2004. «Functional expression of a $\Delta 12$ fatty acid desaturase gene from spinach in transgenic pigs». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 101, no. 17, p. 6361-6366.
- Salyers, A.A., N.B. Shoemaker et L.Y. Li. 1995. «In the driver's seat : the bacteroides conjugative transposons and the elements they mobilize». *J. Bacteriol.*, vol. 177, no. 20, p. 5727-5731.
- Sarmasik, A., G. Warr et T.T. Chen. 2002. «Production of transgenic medaka with increased resistance to bacterial pathogens». *Mar. Biotechnol.*, vol. 4, no. 3, p. 310-322.
- Sang, H. 2003. «Genetically modified livestock and poultry and their potential effects on human health and nutrition». *Trends in Food Science & Technology*, vol. 14, p. 253-263.
- Santé Canada, Direction des aliments, Direction générale de la protection de la santé. 1994. *Lignes directrices relatives à l'évaluation de l'innocuité des aliments nouveaux. Volume II: microorganismes et plantes modifiés génétiquement*. Ottawa : Gouvernement du Canada, 27 p.
- Santé Canada. 2006. Aliments génétiquement modifiés et autres aliments nouveaux: Produits approuvés., <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/gmf-agm/appro/index_f.html>. Mise à jour le 17-11-2006. Consulté le 12-12-2006.
- Sénéchal, J.F. 2002. *Est-il possible de faire sans la transgénèse?* Commission de l'Éthique, de la Science et de la Technologie (CEST), 10 p., <<http://www.ethique.gouv.qc.ca/fi/publications.html>>. Consulté le 21-11-2005.

- Séralini, G.É. 2000. *Le vrai débat*. Paris : Flammarion, 128 p.
- Séralini, G.É. 2001. «Les OGM et la recherche : science ou business? Risques toxiques et environnementaux liés aux plantes transgéniques commercialisées». *VertigO*, vo. 2, no. 1, <http://www.vertigo.uqam.ca/vol2no1/art4vol2n1/gilles-eric_seralini.html>. Consulté le 15-04-2007.
- Séralini, G.É. 2003. *Génétiquement incorrect* [revue et actualisée]. Paris : Flammarion, 326 p.
- Séralini, G.É. 2004. *Ces OGM qui changent le monde*. Paris : Flammarion, 229 p.
- Séralini, G.É., D. Cellier et J. Spiroux de Vendomois. 2007. «New Analysis of a Rat Feeding Study with a Genetically Modified Maize Reveals Signs of Hepatorenal Toxicity». *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, <<http://www.springerlink.com/content/02648wul32m07804/>>. Consulté le 1-05-2007.
- Seutin, G. 1997. «La diversité en biologie», pp. 13-36. In *La biodiversité : tout conserver ou tout exploiter ?* Paris : De Boeck Université, 214 p.
- Sharratt, L. 2003. *GE Food and Child Health*. Ottawa : Polaris Institute, <http://www.polarisinstitute.org/polaris_project/bio_justice/pubs_articles/child_health.htm>. Consulté le 26-04-2006.
- Shields, A. 2007a. «Algues bleues: Greenpeace accuse l'industrie agricole». *Le Devoir*, 25 juillet, p. A3.
- Shields, A. 2007b. «Le Québec gruge son capital agricole : une coalition demande au gouvernement de freiner l'étalement urbain». *Le Devoir*, 29 mai, p. A5.
- Shiva, V. 2004. *La vie n'est pas une marchandise : les dérives des droits de propriétés intellectuelles*. Montréal : Éditions Écosociété, 159 p.
- Simard, R., A. Perron et C. Simard. 2006. *Développement de méthodes moléculaires et immunologiques pour la détection de porcs génétiquement modifiés* [Résumé d'affiche]. 74e Congrès de l'Association francophone pour le savoir (ACFAS), <<http://www.acfas.ca/acfas74/S572.htm>>. Consulté le 2-06-2006.
- Simons, P.C., H.A. Versteegh, A.W. Jongbloed, P.A. Kemme, P. Slump, K.D. Bos, M.G. Wolters, R.F. Beudeker et G.J. Verschoor. 1990. «Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs». *Br. J. Nutr.*, vol. 64, no. 2, p. 525-540.
- Sirard, M.A. et F. Pothier. 2005-2006. «La transgénèse animale ou le portrait d'une victoire regrettable de l'imaginaire sur la réalité scientifique». *L'observatoire de la génétique*, no. 25, <www.ircm.qc.ca/bioethique/obs/genetique>. Consulté le 02-02-2006.

- Smith, K.R. 2002. «Animal Genetic Manipulation - A Utilitarian response». *Bioethics*, vol. 16, no. 1, p. 55-71.
- Snow, A.A., D.A. Andow, P. Gepts, E.M. Hallerman, A. Power, J.M. Tiedje et L.L. Wolfenbarger. 2004. «Genetically engineered organisms and the environment : Current status and recommendations». *Ecological Applications*, vol. 15, no. 2, p. 377-404.
- Soussi-Gounni, Anass, Daniel Massé et Suzelle Barrington. 2006. «La biofiltration, une solution aux gaz à effet de serre émis par les fosses à lisier?». *Porc Québec*, août, p. 36-38.
- SRC (Société royale du Canada). 2001. *Éléments de précaution : recommandations pour la réglementation de la biotechnologie alimentaire au Canada* [Rapport complet du groupe d'experts], 269 p., <http://www.rsc.ca/index.php?lang_id=2&page_id=119>. Consulté le 25-08-2005.
- Statistique Canada. 2005. *Stock de porcs*.
<<http://www.statcan.ca/Daily/Francais/050428/q050428e.htm>>. Consulté le 01-06-2005.
- Statistique Canada. 2006. *Statistiques de porcs*. vol. 5, no. 4.
- Statistique Canada. 2007. *Statistiques de porcs*. vol. 6, no. 1.
- The Royal Society [UK]. 2001. *The use of genetically modified animal*. London : The Royal Society, 46 p.
- Thompson, P.B. 1997. «Sustainability as a norm». *Phil. & Tech.*, vol. 2, no. 2, p. 75-94.
- Thompson, P.B. et A. Nardone. 1999. «Sustainable livestock production : methodological and ethical challenges». *Livestock Production Science*, vol. 61, p. 111-119.
- Thuillier, É., F. Panan et V. Roche. 2002. «Les agendas 21 locaux: un difficile passage du savoir à l'action. *Vertigo*, vol. 3, no. 3,
<http://www.vertigo.uqam.ca/vol3no3/art5vol3n3/emilie_thuillier.html>. Consulté le 6-10-2006.
- Tremblay, S. 2006. *Portrait de la situation de la production porcine au Québec depuis la tenue de la Consultation publique sur le développement durable de la production porcine au Québec en 2003*. Montréal : Coalition Eau Secours!, 82 p.,
<www.eausecours.org/acrobat/Agriculture/012.pdf>. Consulté le 7-05-2007.
- Turcotte, C. 2006. «Portrait : L'industrie porcine sous haute tension». *Le Devoir*, 11 novembre, p. B1.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature et des ressources), WWF (Fonds mondial pour la nature), PNUE (Programme des Nations Unies pour

- l'environnement). 1980. *Stratégie mondiale de conservation*. Gland (Suisse) : Union internationale pour la conservation de la nature.
- University of Guelph. 2004. *Annual Report 2004*. College of Biological Science, Department of Molecular and Cellular Biology, p. 51.
- UQCN (Union québécoise pour la conservation de la nature). 2004. *Malgré le moratoire, l'intensification de la production porcine se poursuit dans les régions dites en surplus de lisiers*, <<http://www.naturequebec.org/pages/publications.asp>>. Consulté le 15-01-2007.
- Uzogara, S.G. 2000. «The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: A review». *Biotechnology Advances*, vol. 18, p. 179-206.
- Vaes, B.L., P. Ducy, A.M. Sijbers, J.M. Hendriks, E.P. van Someren, N.G. de Jong, E.R. van den Heuvel, W. Olijve, E.J. van Zoelen et K.J. Dechering. 2006. «Microarray analysis on Runx2-deficient mouse embryos reveals novel Runx2 functions and target genes during intramembranous and endochondral bone formation». *Bone*, vol. 39, no. 4, p. 724-738.
- Vandelac, L. 2000. «Perturbateurs endocriniens et politiques publiques en matière de santé et d'environnement». Conférence donnée à l'Académie nationale de médecine de France (Paris, 17 octobre).
- Vandelac, L. 2006a. « L'eau vitale, précaire et sans prix », pp. 99-102. In *L'état du Monde 2007*. Paris : La Découverte/ Montréal : Boréal, 430 p.
- Vandelac, L. 2006b. «Notre santé et celle des écosystèmes : un lien important». *FrancVert*, vol. 3, no. 2, <<http://www.francvert.org/pages/32dossierlapprochecosanteoulaviabilite.asp>>. Consulté le 06-07-2006.
- Vandelac, L. 2006c. « Préface » pp. IX à XVI. In *Le BAPE devant les citoyens*, J. Baril (ed.). Québec : Presses de l'Université Laval, 192 p.
- Vandelac, L. et M.H. Bacon 1999. «Perturbateurs endocriniens et polluants organiques persistants: inquiétante érosion de la santé, de la fertilité et des capacités intellectuelles». *Ruptures*, vol. 6, no 2, p. 237-267.
- Vandelac, L. et S. Beaudoin. 2007. «Transformer le porc en « vache à lait » risque fort de tuer « la poule aux œufs d'or » : Du porc transgénique, à la viande de porc sans porc...», pp. 254-276. In *Porcherie ! La porciculture intempestive au Québec*, Denise Proulx et Lucie Sauvé (eds.). Montréal : Écosociété.
- Vandelac, L., É. Abergel et C. Lafontaine. 2002-2005. *Technosciences du vivant, transgénèse et politiques publiques au Québec : une approche écosystémique*. Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH). Université du Québec à Montréal.

- Vandelac, L., D. Mergler, É. Abergel et G. Bibeau. 2003-2006. *Pour un dispositif d'évaluation scientifique et sociale des technosciences du vivant, dans le domaine de la transgénèse alimentaire : le cas du saumon transgénique*. Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH), Initiatives de développement de la recherche. Université du Québec à Montréal.
- Van Reenen, C.G., T.H. Meuwissen, H. Hopster, K. Oldenbroek, T.H. Kruip et H.J. Blokhuis. 2001. «Transgenesis may affect farm animal welfare : a case for systematic risk assessment». *J. Anim. Sci.*, vol. 79, no. 7, p. 1763-1779.
- Vajta, G. et M. Gjerris. 2006. «Science and technology of farm animal cloning : State of the art». *Animal Reproduction Science*, vol. 92, p. 211-230.
- Vavra, M. 1996. «Sustainability of animal production systems : an ecological perspective». *J. Anim. Sci.*, vol. 74, p. 1418-1423.
- Vecchio, L., B. Cisterna, M. Malatesta, T.E. Martin et M. Biggiogera. 2004. «Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean». *Eur. J. Histochem.*, vol. 48, p. 449-454.
- Vermersch, D. 2002. *L'émergence du questionnement éthique au sein de la démarche scientifique*. Paris : Institut Pasteur, p. 1-9, www.rennes.inra.fr/economie/pdf/021114Pasteur.pdf. Consulté le 22-11-2004.
- Verschoor, C., S. Walters, C.W. Forsberg, J.P. Phillips et S.P. Golovan. 2005. «Differential expression of proteins in the parotid gland of the Enviropig™ [Résumé]», In *Meeting report and abstracts of the 2005 UC Davis Transgenic Animal Research Conference V*, sous la dir. de James D. Murray/ *Transgenic Research*, vol. 15, p. 128-129.
- Verschoor, C., S. Walters, C.W. Forsberg, J.P. Phillips et S.P. Golovan. 2006. «Transcriptome And Proteome Profile For The Swine Parotid Gland [Résumé d'affiche]». In *Plant & Animal Genomes XIV Conference* (San Diego, 14-18 janvier 2006), http://www.intl-pag.org/14/abstracts/PAG14_P71.html. Consulté le 11-08-2006.
- Vize, P.D., A.E. Michalska, R. Ashman, B. Lloyd, B.A. Stone, P. Quinn, J.R. Wells et R.F. Seamark. 1988. «Introduction of a porcine growth hormone fusion gene into transgenic pigs promotes growth». *Journal of Cell Science*, vol. 90, p. 295-300.
- Wall, R.J. 1996. «Transgenic livestock : progress and prospects for the future». *Theriogenology*, vol. 45, p. 57-68.
- Wall, R.J. 1999. «Biotechnology for the production of modified and innovative animal products : transgenic livestock bioreactors». *Livestock Production Science*, vol. 59, p. 243-255.

- Watson, J.D. et F.H.C. Crick. 1953. «Molecular structure of nucleic acids : A structure for deoxyribose nucleic acid». *Nature*, vol. 171, p. 737-738.
- Wheeler, M.B., G.T. Bleck et S.M. Donovan. 2001. «Transgenic alteration of sow milk to improve piglet growth and health». *Reproduction*, vol. 58 (Suppl.), p. 313-324.
- Wheeler, M.B., E.M. Walters et S.G. Clark. 2003. «Transgenic animals in biomedicine and agriculture : outlook for the future». *Animal Reproduction Science*, vol. 79, p. 265-289.
- Wheeler, M.B. 2007. «Agricultural applications for transgenic livestock». *Trends Biotechnol.*, vol. 25, no. 5, p. 204-210.
- Willard, H.F. 2006. «Some pig? – after a little work». *The News & Observer*, 26 mai, <www.newsobserver.com/559/story/443488.html>. Consulté le 30-05-2006.
- Wilmut, I., N. Beaujean, P.A. de Sousa, A. Dinnyes, T.J. King, L.A. Paterson, D.N. Wells et L.E. Young. 2002. «Somatic cell nuclear transfer». *Nature*, vol. 419, no. 6907, p. 583-586.
- Whittle, G., N.B. Shoemaker et A.A. Salyers. 2002. «The role of Bacteroides conjugative transposons in the dissemination of antibiotic resistance genes». *Cell. Mol. Life Sci.*, vol. 59, no. 12, p. 2044-2054.
- Wolf, C.R. et C.J. Henderson. 1997. «Use of transgenic animals in understanding molecular mechanisms of toxicity». *Journal Pharmacy and Pharmacology*, vol. 50, p. 567-574.
- WRI (World Resources Institute). 2000. *A Guide to World Resources 2000-2001. People and Ecosystems : The Fraying Web of Life*. Washington (D.C.) : World Resources Institute, 389 p.
- Wright, T.C., S.A. Walters, S.P. Golovan, R.G. Meidinger, J.P. Phillips et C.W. Forsberg. 2006. «Relative Muscle Protein Abundances in EnviropigTM And Yorkshire Pig Breeds [Résumé d'affiche]». In *Plant & Animal Genomes XIV Conference* (San Diego, 14-18 janvier 2006), <http://www.intl-pag.org/14/abstracts/PAG14_P576.html>. Consulté le 11-08-2006.
- Yang, X.M., C.F. Drury, T.Q. Zhang, A. Ajakaiye, C.W. Forsberg, M.Z. Fan et J.P. Phillips. 2006. «Inorganic N dynamics from soils amended with low-P manure from genetically modified pigs (EnviropigTM)». *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, vol. 75, p. 297-304.
- Yousef, M.I., M.H. Salem, H.Z. Ibrahim, S. Helmi, M.A. Seehy et K. Bertheussen. 1995. «Toxic effects of carbofuran and glyphosate on semen characteristics in rabbits». *J. Environ. Sci. Health*, vol. 30, no. 4, p. 513-534.

- Yousef, M.I., K. Bertheussen, H.Z. Ibrahim, S. Helmi, M.A. Seehy et M.H. Salem. 1996. «A sensitive sperm-motility test for the assessment of cytotoxic effect of pesticides». *J. Environ. Sci. Health*, vol. 31, no. 1, p. 99-115.
- Zhang, Y., P. Dengke, S. Xiuzhu, S. Guojie, W. Xiaobo, L. Xiaohui, L. Yan, D. Yunping et L. Ning. 2006a. «Production of porcine cloned transgenic embryos expressing green fluorescent protein by somatic cell nuclear transfer». *Science in China Series C*, vol. 49, no. 1, p. 1-8.
- Zhang, T.Q. 2006b. *Agronomic and Environmental Evaluation of Nutrients in Low-Phosphorus Manures*, Research Projects Approved for Funding in February of 2006, Ontario Pork, Projet no. 06/46,
<<http://www.ontariopork.on.ca/issues/research/2006fundedprojects.tm>>. Consulté le 24-09-2006.

CHAPITRE 16

Transformer le porc en « vache à lait » risque fort de tuer « la poule aux œufs d'or »

*Du porc transgénique à la viande
de porc sans porc'...*

LOUISE VANDELAC
SIMON BEAUDOIN

*You can not solve the problem
with the same kind of thinking
that created the problem...*
Albert Einstein

CES PROPOS ATTRIBUÉS À EINSTEIN illustrent à merveille la saga des élevages industriels de porc du Québec. Cette crise de la « porciculture intensive » ne repose-t-elle pas, en effet, sur la difficulté de

-
1. Cet article fait suite à deux projets de recherche du CRSH: 1) *Technosciences du vivant, transgénèse et politiques publiques au Québec: une approche écosystémique*. Vandelac, L., E., Abergail, C. Lafontaine et al., 2003-2006; 2) *Pour un dispositif d'évaluation scientifique et sociale des technosciences du vivant, dans le domaine de la transgénèse alimentaire: le cas du saumon transgénique*. Vandelac, L., G. Bibeau, D. Mergler, E. Abergail et al., Initiatives de développement de la recherche 2003-2007. Le volet porc transgénique fait également l'objet du mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement de Simon Beaudoin, 2007, sous la direction de Louise Vandelac.

penser les solutions de l'actuelle crise porcine autrement que dans les termes mêmes qui l'ont engendrée? Ne tient-elle pas, notamment, à la difficulté de s'émanciper d'un modèle productiviste linéaire et suranné, qui, carburant à la fuite en avant techniciste, ne réussit ni à prendre la pleine mesure des risques écologiques et des défis énergétiques qui s'annoncent, ni même à éviter les impacts environnementaux et sociosanitaires les plus problématiques? Pourtant, les précieux atouts de cette petite Europe agricole et culinaire du nord de l'Amérique permettraient au Québec de se tailler tout autrement une place de choix...

Dans un secteur économique aussi largement dominé par les compétiteurs américains, brésiliens et chinois, prétendre encore équilibrer la balance commerciale du Québec en augmentant ainsi, au profit de géants de l'industrie, une production aussi concentrée et intensive de porcs calibrés et uniformisés, identique à celle des concurrents, et cela sans réel souci ni des capacités de support des écosystèmes ni des limites de l'acceptabilité sociale, n'est sans doute plus l'idée du siècle... Ainsi, nombre de producteurs, emportés par la spirale d'un développement d'abord prospère et accéléré, se sont lourdement endettés, au point de faire les frais de cette production mal planifiée et peu encadrée, dont les coûts socio-environnementaux ont été refilés aux contribuables, et les impacts à long terme reportés sur les générations futures. Selon le BAPF², la production québécoise de porcs à la ferme, la deuxième en importance après la production laitière³, a entraîné, en 2001, des revenus de 1,13 milliard de dollars. Néanmoins, ce secteur économique, frappé par les contrecoups de la hausse du dollar canadien ainsi que par les pertes, en 2005, de 27 millions de dollars à la suite du syndrome de dépérissement postsevrage (SDPS) ayant décimé plus de 270 000 porcs⁴, risque de voir disparaître un bon nombre d'entreprises parmi les plus endettés. Certains considèrent toutefois encore que la crise porcine, purement conjoncturelle, n'est qu'un simple hoquet de

2. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. *L'état de la situation de la production porcine au Québec*, rapport 179, vol. 1, 2003. <http://www.bape.gouv.qc.ca/>.

3. Statistique Canada, *Statistiques de porcs*, vol. 6, n° 1, 2007.

4. « Les producteurs de porcs réclament de l'aide: 270 000 porcs décimés par un virus », *La Presse*, p. A16, 17 octobre 2006.

croissance qui concentrera les entreprises les plus performantes et les mieux armées pour intensifier la production. Elle les aidera à augmenter leurs profits et à investir dans les technologies visant à réduire la charge polluante des lisiers, calmant ainsi les revendications écologistes... Ah! Si tout était aussi simple... et si tout allait aussi bien, Madame la Marquise...

À la croisée des chemins... un horizon trouble...

Rappelons d'entrée de jeu que les coûts de la « porciculture » dépendent largement de la « pétroculture », essentielle aux grandes monocultures intensives de maïs-grain, gavées d'intrants chimiques à base de pétrole et exigeant de la machinerie gourmande en combustibles. Or, le déclin annoncé, dès 2020, des réserves de carburants fossiles, et la hausse des prix qui s'ensuivra, risque fort de se répercuter sur les cultures de maïs et, par ricochet, sur les coûts de production porcine. Si, en outre, ces grandes monocultures intensives, nourries de pesticides et d'OGM pesticides, s'avèrent en partie responsables de l'actuelle hécatombe d'abeilles, estimée à 40 % au Québec et entre 30 % et 70 % dans certaines régions des États-Unis⁵, la nécessité de se sevrer de la « pétroculture » risque également de modifier les stratégies et les coûts de production. C'est en effet non seulement la production de miel qui est mise en péril, mais toute la pollinisation, dont dépend 30 % à 40 % de tout ce que nous mangeons, représentant, aux États-Unis seulement, plus de 14 milliards de dollars.

Alors que ces nouveaux défis exigent de repenser globalement les questions d'énergie et de production, certains chercheurs, encouragés par les pouvoirs publics, se cantonnent encore dans l'intensification de la production et l'accélération de la croissance des bêtes, quitte à inventer des porcs transgéniques pour réduire, à la marge, la pollution imputable, notamment, au phosphore des lisiers... Cette entrée dans le « meilleur des mondes » de la production d'animaux transgéniques et possiblement clonés, risque donc de moduler le remodelage transgénique au rythme des problèmes

5. Barrionuevo, A. "Disappearing honeybees imperil crops keepers: Harvesters in 24 states report hive population rates have mysteriously fallen 30% to 70%", *New-York Times*, 1^{er} mars 2007. <http://www.dcnnews.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20070301/BIZ/703010310/1001>.

suscités ou des caractéristiques recherchées, inaugurant ainsi un nouveau bestiaire, totalement inédit, aux conséquences imprévisibles.

Dans ce nouvel univers de sens, comment les producteurs pourront-ils résister à l'attrait des prix payés par les multinationales de la moléculculture pour cultiver des plantes transgéniques ou pour produire des porcs transgéniques utilisés, tout comme les plantes, comme bioréacteurs pour fabriquer des produits pharmaceutiques ou industriels? Et dans un contexte réglementaire marqué depuis 25 ans par le laxisme et les conflits d'intérêt des pouvoirs publics, tiraillés entre promotion économique et protection de la santé et de l'environnement, qui assumera les risques écosanitaires de telles productions? Enfin, quel sera l'avenir de ces producteurs quand les travaux en génie tissulaire, enrobés d'un autre discours tout aussi vert et pervers que celui des porcs transgéniques dits « Enviropig^{MD} », stimuleront l'éventuelle filière de la viande artificielle dont les effets de concentration monopolistique risquent d'affecter durablement l'économie rurale?

Ces quelques lignes, ouvrant un horizon pas tout à fait radieux, permettent de saisir qu'au-delà des problèmes économiques, la production porcine intensive traverse une crise socio-écologique qui est aussi une profonde crise de sens. Quand des producteurs, censés nourrir la population, en arrivent, de concert avec des pouvoirs publics chargés de veiller au grain, à négliger les externalités au point de rompre les équilibres vitaux des milieux de vie et le tissu social des communautés, et quand certains proposent de déplacer les problèmes, voire de les aggraver par une telle fuite en avant technicienne, comment ne pas s'inquiéter?

Le basculement transgénique du vivant...

À travers l'alimentation et la transformation du vivant, qu'inaugurent la transgénèse et le clonage, c'est « toute la question du devenir de l'espèce humaine et de ses rapports avec les autres vivants et partant, celle d'un développement durable pour l'humanité qui est posée⁶ ».

6. Testart, J. *Réflexions pour un monde viable : Propositions de la Commission française du développement durable (2000-2003)*, Paris, Éditions Mille et une nuits, 2003, p. 49.

Ces développements sociotechniques, enrobés de « vert illusion », comme ce porc transgénique qualifié d'« Enviropig^{MD} » ou la « viande artificielle », en incubation dans les laboratoires des firmes et dans les officines des instances réglementaires, traduisent d'étonnants paysages mentaux. Souvent présentées comme réponses aux impacts environnementaux et aux problèmes d'harmonisation avec les communautés, ils constituent de puissants révélateurs d'un univers de pensée qui arrive mal à appréhender les questions de façon globale tout en respectant les capacités de régénération des vivants et des écosystèmes, pourtant essentiels à la viabilité du monde.

En effet, quand l'intensification croissante des élevages ne passe plus par la modification des stratégies et des outils de production, ni par la sélection et « l'amélioration génétique » traditionnelle, mais par la création d'un nouvel animal transgénique, s'ouvre alors une véritable fracture dans l'ordre du vivant. Il ne s'agit plus de simples croisements, mais de bricolages transgéniques exigeant l'introduction, dans les cellules de l'animal, d'une construction génétique incluant des gènes d'une autre espèce et parfois même d'un autre règne (humain, végétal ou bactérie). On crée ainsi de nouvelles filières de vivants brevetés, conçus d'emblée comme marchandises et comme outils de production, ce qui n'est pas sans soulever d'importants enjeux éthiques et de pressantes questions d'imputabilité.

On rétorquera que la recherche de profits a souvent incité à pousser les bêtes à leurs ultimes limites, au point de menacer leur santé et de décimer les cheptels. Mais quand la maladie frappe et que la mort des bêtes est au rendez-vous, cela nous rappelle généralement à l'ordre et nous incite fortement, comme le propose le professeur François Madec de l'Agence Française de sécurité sanitaire des aliments, à traiter ces animaux autrement et à revoir profondément nos façons de faire.

Toutefois, quand on invente un porc transgénique, on peut certes interrompre l'expérience en cas de problèmes majeurs et tuer ce porc et même ses descendants. Mais comment résister alors à la tentation de corriger ces « erreurs » par de nouveaux essais de transgénèse, sous prétexte d'améliorer la performance des bêtes ? En effet, si on considère que c'est le porc lui-même qui fait problème, et non son alimentation indigeste visant à accélérer sa croissance, comme c'est le cas d'« Enviropig^{MD} » ; bref, si l'on croit que ce porc

transgénique est une nouvelle « poule aux œufs d'or », comment alors éviter le piège de pousser plus loin encore sa réification, son instrumentalisation et son remodelage transgénique, voire d'appliquer ce type de logique à une large partie des animaux dits de boucherie ?

Quand la question détermine la réponse : du « porc machine » à la « machine à porc »...

C'est prétendument pour maintenir la compétitivité de l'industrie du porc que des antibiotiques, servis à doses sous thérapeutiques, sont ajoutés à l'alimentation des porcs⁷. Et c'est désormais pour en contrer les effets indésirables qu'on multiplie les recherches visant à remplacer ces antibiotiques comme facteurs de croissance par des technologies innovantes susceptibles d'améliorer la qualité et la salubrité des viandes et de créer des produits à valeur ajoutée⁸. C'est également pour accélérer la croissance des porcs que les producteurs enrichissent leur alimentation de graines riches en phosphore indigeste, puis de phosphore inorganique^{9,10}, entraînant des rejets de phosphore dans les excréments nettement plus importants que ceux des porcs nourris sans de tels additifs alimentaires. Pour réduire ensuite ces rejets accrus de phosphore dans les déjections des porcs on ajoute dans l'alimentation du bétail de la phytase, une enzyme d'origine bactérienne ou fongique capable de libérer le

7. NAS (National Academy of Science). *Animal Biotechnology: Science-Based Concerns*, Washington (DC), The National Academies Press, 2002, 181 p.; Broes, A. *Consultation publique sur le développement durable de la production porcine au Québec*, BAPE/Saint-Jean-sur-Richelieu, 27 janvier, 2003, p. 59.
8. CQVB (Centre québécois de valorisation des biotechnologies). *Innovation et enjeux en nutrition porcine*, programme de la Rencontre technologique, Beloeil, 30 mai 2007. Consulté le 8 mai 2007 à <http://www.cqvb.qc.ca/>.
9. National Research Council (NRC). *Nutrient Requirements of Swine*, 10^e éd., Washington (DC), National Academy Press, 1998. <http://darwin.nap.edu/books/0309059933/html>.
10. Forsberg, C.W. *et al.* "The Enviropig physiology, performance, and contribution to nutrient management advances in a regulated environment: The leading edge of change in the pork industry", *J. Anim. Sci.*, vol. 81 (E Suppl. 2), 2003, E68-E77.

phosphore indigeste en phosphate biodisponible pour l'animal¹¹, ce qui était le cas, en 2003, de 90 % des producteurs Québécois. Néanmoins, ces divers ajouts de graines et de phosphore inorganique, souvent en excès, entraînent des rejets de phosphore dans les excréments nettement plus importants que ceux des porcs nourris sans de tels additifs alimentaires¹². Si on ajoute à ces surplus de phosphore les effets en cascade du passage des fumiers aux lisiers, du déboisement visant à augmenter les cultures de maïs gavées de lisier, de pesticides ou d'OGM pesticides – autant de sources de surfertilisation des terres et de lessivage des intrants et du phosphore dans les eaux souterraines et de surface –, on se demande quels sont les gains réels... Surtout quand les effets de décennies de drainage agricole et de redressement de dizaines de milliers de kilomètres de fossés agricoles, ajoutés aux impacts de la réduction des bandes riveraines de 10 mètres à 3 mètres et aux calculs des taux de phosphore seulement à l'embouchure des tributaires, contribuent à amplifier les impacts de l'érosion des sols et des rejets de phosphore, d'azote et de pesticides dans des cours d'eau, dont les capacités réduites de filtration et de résilience^{13,14}, accentuent les risques d'eutrophisation de nombreux plans d'eau et de mort d'organismes aquatiques...

Et en termes de coûts, si on additionne les frais des fosses à purin, du déboisement, du drainage et du reprofilage des cours d'eau agricoles à ceux des impacts économiques de la pollution hydrique, allant parfois jusqu'aux graves pollutions aux cyanobactéries et aux effets sur la santé et l'alimentation en eau potable de milliers de personnes, sans parler des dizaines de millions de frais d'atténuation et des coûts astronomiques de restauration de ces écosystèmes, comment ne pas être frappés par l'absurdité de la situation? Ce que l'intensification de la production de grains et l'engraissement accéléré de porcs avec diète au phosphore et épandage

11. Foulds, C. « Suivi du plan d'action agroenvironnemental en production porcine », *Porc Québec*, août 2005, p. 41-42.

12. Golovan, S.P. et al. "Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure", *Nature Biotechnology*, vol. 19, 2001, p. 741-745.

13. Franceur, L.-G. « Échec de la politique des bandes riveraines », *Le Devoir*, 17 janvier 2003.

14. Franceur, L.-G. « Montérégie », *Le Devoir*, 4 janvier 2003.

des lisiers permet à certains « d'épargner », ne coûte-t-il pas le centuple en termes de support à la filière, de dégradations environnementales et de conflits sociaux, rendant cette « économie porcine » fort peu compatible avec un réel développement durable ?

Certes, on l'a vu, l'ajout de phytate à l'alimentation porcine n'est qu'un élément de cette logique productiviste et de ces dispositifs qui, insouciants de leurs impacts, sont responsables d'un tel état de fait. Et si certaines technologies peuvent atténuer des problèmes d'odeurs et de transport du lisier, comme ce traitement aérobie et thermophile qui, apparenté au compostage, permettrait d'en éliminer des pathogènes, d'en détruire les mauvaises odeurs et d'en concentrer les éléments fertilisants (azote et phosphore)¹⁵, ou encore, comme ces projets belges de transformation de lisiers en éthanol : ni ces innovations ni ces gentils « parfums à lisier » ne peuvent pour autant suffire à résoudre les impacts socio-environnementaux d'une telle porciculture intensive et intempestive.

En fait, dans ce secteur comme dans bien d'autres, s'attaquer aux seuls impacts sans questionner les logiques de développement conduit souvent à des solutions partielles et partiales, généralement insatisfaisantes et fort problématiques. Désormais, ce sont donc les politiques publiques, les orientations de recherche et développement, les exigences d'analyse critique et d'innovation sociale qui, au cœur du travail des sciences citoyennes¹⁶, devraient réunir décideurs publics, chercheurs et citoyens autour de l'analyse de certains projets. Par exemple, le BAPF, qui a permis, au cours des dernières années, de créer de concert avec les citoyens un forum démocratique permettant d'appréhender les questions de façon plus globale et mieux articulée, mériterait désormais de s'ouvrir, en amont, aux enjeux environnementaux découlant des domaines de la recherche technoscientifique. En effet, démocratiser les savoirs ne peut se résu-

15. Juteau, P. *Traitement des lisiers et usage des antibiotiques dans l'industrie porcine*, mémoire présenté dans le cadre de la consultation publique sur le développement durable de la production porcine au Québec, BAPF/ Institut national de la recherche scientifique (INRS)-Institut Armand-Frappier, 2003.

16. Voir www.sciencescitoyennes.org et notamment le « European project STACS - Science, technology and civil society - Civil Society Organisations, actors in the European system of research and innovation », financé par la Commission européenne.

mer à permettre aux gens d'accéder aux institutions de savoirs sans, du même coup, « faire entrer les technosciences en démocratie¹⁷ », ce qui exige un examen critique des savoirs et une évaluation stratégique des politiques, des programmes, des projets majeurs et des grands axes de recherche^{18,19}. Autrement dit, il ne s'agit pas simplement d'atténuer les impacts négatifs de certains développements sur la santé, l'environnement et la vie sociale. Il s'agit d'instaurer des dispositifs d'évaluation scientifiques et sociaux permettant de questionner, dès l'amont, le bien-fondé et les risques potentiels de telles innovations sociotechniques, voire d'en faire une évaluation écosystémique alliant empreinte écologique et analyse du cycle de vie permettant de renouveler les façons mêmes de poser les questions, et donc de les résoudre.

De tels dispositifs démocratiques avec contre-expertises indépendantes²⁰ sont d'autant plus importants que tout porte à croire que les politiques publiques qui seront privilégiées au cours des prochaines années risquent fort de modifier profondément non seulement le cheptel porcin, mais l'ensemble des paysages ruraux. Si ces politiques sont confinées aux mêmes modèles agroéconomiques ayant privilégié ces ajouts à l'alimentation porcine au point d'exacerber les problèmes de phosphore, comment pourraient-elles résister aux chants de sirènes vantant maintenant le porc transgénique et demain le clonage des porcs?

Enviropig^{MD} ou le vert illusion...

Les concepteurs de l'Enviropig^{MD}, les Dr Phillips et Forsberg de l'Université de Guelph en Ontario, considèrent que l'ajout de phytase à l'alimentation des porcs pour en accélérer la croissance est une pratique coûteuse, alors même que l'enzyme est sujette à une inactivation partielle ou complète durant sa préparation ou

17. Latour, B. *Politiques de la nature: Comment faire entrer les sciences en démocratie*, Paris, La Découverte, 1999, 382 p.

18. Baril, J. *Le BAPF devant les citoyens*, Québec, Presses de l'Université Laval, 2006, p. IX à XVI.

19. Vandelac, L. « Préface », in Baril, J. *Le BAPF devant les citoyens*, Québec, PUL, 2006, p. IX à XVI.

20. Vandelac, L. « Menace sur l'espèce humaine... ou démocratiser le génie génétique », *Futuribles, Analyse et Prospective*, n° 264, 2001, p. 5-26.

l'entreposage de la nourriture (Guelph Transgenic Pig Research Program). Étudiant la question à travers ce prisme étroit, ils proposent donc de créer des porcs transgéniques ayant la capacité génétique de produire leur propre phytase dans leur salive²¹, éliminant alors l'ajout du phosphore inorganique ou de phytase microbienne à l'alimentation, et réduisant ainsi le contenu en phosphore des excréments. En 2001, ces chercheurs produisirent une première série de porcs transgéniques, Enviropig^{MD}, en introduisant, par micro-injection dans le pronucléus mâle d'embryons, des constructions génétiques contenant une séquence d'origine murine (*parotid secretory protein promoter*) permettant l'expression, dans les glandes parotides du porc, d'un gène de la bactérie *Escherichia coli* (*appA*), favorisant quant à lui la production de la phytase. En conséquence, les glandes salivaires de l'Enviropig^{MD} produisent de la phytase bactérienne qui, une fois dans son système digestif, confère à l'animal la capacité d'absorber le phosphore alimentaire, éliminant alors la nécessité d'en ajouter à sa diète.

Présenté en ces termes, cet Enviropig^{MD}, marque de commerce à l'enrobage pseudo-environnemental, semble être une « solution » relativement simple... On en oublierait presque les impacts potentiels sur la santé et sur l'environnement, les coûts liés aux brevets et à l'emprise de « l'industrie du vivant » sur ces espèces brevetées, ainsi que les effets d'un tel remodelage transgénique sur nos rapports à l'ensemble du vivant...

Des 13 animaux transgéniques fondateurs ainsi produits, trois seulement avaient une activité enzymatique suffisante pour diminuer de 56 % à 75 % le contenu en phosphore des matières fécales, comparés à des porcs non transgéniques nourris avec la même diète, bien que cette activité enzymatique variait considérablement selon la position du transgène, selon les individus d'une même portée et selon leur âge, questionnant alors la prétendue stabilité génétique... En 2005, au moins cinq autres générations de ces porcs transgéniques hypophosphoriques avaient été produites²², avec

21. Golovan, *op. cit.*, note 13.

22. Forsberg, C.W. *et al.* The EnviropigTM: phosphorus nutrition, physiology and tissue composition [Résumé], in Murray, J. D.(dir.), « Meeting report and abstracts of the 2005 UC Davis Transgenic Animal Research Conference V », *Transgenic Research*, n° 15, 2005, p.116-117.

l'aval des pouvoirs publics. En effet, plusieurs instances gouvernementales et autres organisations publiques ont subventionné les recherches du Guelph Transgenic Pig Research Program, alors que la licence exclusive de distribution appartient à Ontario Pork²³. Pour boucler la boucle, comme c'est souvent le cas en matière de transgénèse, les scientifiques et promoteurs de l'Enviropig^{MD} ont participé au développement des exigences des organismes gouvernementaux et aux directives en matière d'innocuité, en vue de commercialiser leur nouvelle « invention »²⁴. Bref, cela n'aide guère à diminuer le cynisme des citoyens devant le manque d'indépendance d'organismes réglementaires, se complaisant à confier ainsi l'avenir des porcs transgéniques aux loups de la transgénèse...

À problème mal posé, solutions « vertement » problématiques ?

Prétendre réduire la problématique de la production porcine intensive à celle du phosphore, pour accuser ensuite le système digestif du porc de constituer « le problème », témoigne, on en conviendra, d'un art consommé de « s'enlisier » dans des raisonnements absurdes. D'autant plus que de tels raisonnements, conduisant à faire de certaines caractéristiques de l'animal ou plutôt des effets de certaines pratiques d'élevage « le problème », risquent de conduire à un remodelage transgénique sans fin, élargissant et amplifiant alors les problèmes ! Si, par exemple, on continue, avec une telle myopie, de faire de la norme phosphore le premier critère environnemental pour établir les capacités de support des écosystèmes en lisiers, ne sera-t-on pas alors tenté d'utiliser l'alibi d'un tel porc transgénique, aux rejets prétendument réduits en phosphore, pour légitimer l'augmentation du nombre de porcs et d'élevages et, par le fait même, les volumes d'épandage ?

Cela augmenterait certes du même coup les surplus d'azote, mais c'est un risque que les promoteurs d'Enviropig^{MD} prétendent

23. Honey, K. "These little piggies are a scientific marvel: Canadian scientists' 'Enviropigs' cause less pollution", *Globe and Mail*, Toronto, 23 juin 1999 p. A1.

24. Maus, J. "It's safety first for the EnviropigTM: Researchers are testing meat from this novel technology to ensure its safety", *Pigs, Pork and Progress*, vol. 1, 2004, p. 24.

contourner en remplaçant alors les protéines de l'alimentation du porc par des acides aminés²⁵. C'est à voir... Chose certaine, en cas d'accroissement de la production, ce sont non seulement les effets nocifs du phosphore et de l'azote qu'il faudrait craindre mais ceux de l'ammoniaque, des oxydes nitreux, du méthane, des sulfides d'hydrogène, des particules et des micro-organismes sur la qualité de l'air^{26,27,28}. En outre, on exacerberait aussi les effets liés à l'accroissement des volumes d'épandage (agents pathogènes, métaux lourds et antibiotiques) et des cultures de maïs (pesticides, diminution des boisés, problèmes hydriques), sans oublier la hausse des émissions de gaz à effet de serre. Comme le rappelait l'OCDE en 2003²⁹, c'est tout le cycle de la production porcine (aliments pour les porcs, transformation, emballage, distribution, commercialisation et consommation) qui entraîne des impacts environnementaux. Vouloir intensifier la production en introduisant un porc transgénique risque d'aggraver ces problèmes^{30, 31}, en plus d'amplifier les tensions sociales³², sans oublier les risques pour la santé animale, avec pour corollaire l'administration accrue d'antibiotiques... Bref, un tel porc transgénique pourrait bien être une « solution »... pire que le problème.

25. Forsberg, C.W. *et al. op.cit.*, note 10.

26. BAPE, *op. cit.*, note 2.

27. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *Agriculture, échanges et environnement : le secteur porcin*, Paris, OCDE, 2003, 205 p.

28. Westerman, P.W. et Bicudo, J.R. "Management considerations for organic waste use in agriculture", *Biorescience Technology*, vol. 96, 2005, p. 215-221.

29. OCDE, *op.cit.*, note 29.

30. Cole, D., Todd, L. et Wing, S. "Concentrated Swine Feeding Operations and Public Health: a Review of Occupational and Community Health Effects", *Environmental Health Perspectives*, vol. 108, n° 8, 2000, p. 685-699.

31. Horrigan, L., Lawrence, R.S. et Walker, P. "How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture", *Environmental Health Perspectives*, vol. 110, n° 5, 2002, p. 445-456.

32. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. *L'inscription de la production porcine dans le développement durable.*, rapport final, rapport 179, 2003. <http://www.bape.gouv.qc.ca/>.

Maïs transgénique... et porcs transgéniques : risques pour la santé humaine ?

Contrairement à ce qu'a déjà prétendu l'équipe de Forsberg, l'innocuité du porc transgénique ne peut être établie en affirmant simplement que les tests sanguins et de croissance sont normaux³³. Mais, comme les pouvoirs publics canadiens n'exigent guère de contre-expertises indépendantes à moyen et à long terme sur les mammifères, rien ne permet pour l'instant d'évaluer parfaitement les impacts de la transgénèse animale sur la santé humaine. L'incertitude est donc sans équivoque. En outre, l'absence de connaissances solides sur les conséquences des nouvelles biotechnologies élimine aussi la possibilité d'établir les niveaux de risque de la transgénèse pour le bien-être et la santé animale^{34, 35}. Toutefois, comme les porcs sont nourris principalement de maïs-grain, dont près de la moitié des cultures au Québec sont désormais transgéniques, les recherches en matière d'alimentation animale vont peut-être permettre de mieux comprendre les impacts potentiels sur la santé humaine.

En effet, la récente contre-expertise réalisée par le Comité de Recherche et d'Information Indépendantes sur le génie Génétique (CRII-GEN) de l'université de Caen, en France, a remis en question certains résultats clés de l'étude réglementaire réalisée par la Compagnie Monsanto, qui a servi de base à l'autorisation de commercialisation internationale de certains de ces maïs. Le réexamen attentif de cette étude, faite initialement sur des rats nourris au maïs OGM (MON863) pendant trois mois, a en effet mis en évidence des signes de toxicité hépatique et rénale chez ces rats. Selon le CRII-GEN, «ces éléments sont suffisants pour exiger d'autres études» et il propose, «dans l'attente, le retrait de la

33. Larivière, T. «Des porcs écologiques», *La terre de chez nous*, août 2001.

34. Van Reenen, C. G., Meuwissen, T. H., Hopster, H., Oldenbroek, K., Kruip, T. H. et Blokhuis, H.J. "Transgenesis may affect farm animal welfare: a case for systematic risk assessment", *Journal of Animal Science*, vol. 79, n° 7, 2001, p. 1763-1779.

35. Beaudom, S. *La transgénèse animale est-elle compatible avec une agriculture durable? Le cas du porc transgénique hypophosphorique*, mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 2007.

consommation du maïs OGM MON863, lequel ne peut donc plus être considéré comme propre à la consommation animale ou humaine ». Le CRII-GEN ajoute que, dans les circonstances, « un moratoire sur la consommation de l'ensemble des OGM s'avère nécessaire afin de vérifier les autres tests³⁶ ».

Outre cette contre-expertise mettant en évidence des effets de toxicité pour le foie et les reins de ces rats³⁷, d'autres études, dont celles de Malatesta^{38, 39} et de Vecchio⁴⁰, remettent également en question l'innocuité de maïs transgéniques, pourtant réputés sécuritaires selon les organismes réglementaires nord-américains⁴¹. Or, compte tenu que ces OGM commercialisés (soja surtout, maïs et canola) sont largement destinés à l'alimentation animale, ces études devraient inciter les producteurs à questionner cet engouement à nourrir les bestiaux de maïs transgéniques, et devraient surtout forcer les organismes réglementaires à exiger de réels travaux de contre-expertise indépendants, base même de rigueur scientifique. Dans un contexte où plusieurs éleveurs témoignent de problèmes de santé, voire de la mort de leurs bêtes nourries de maïs transgénique⁴², ces témoignages, considérés anecdotiques au plan scientifique, devraient néanmoins inciter les pouvoirs publics à faire

36. <http://www.criigen.org/>.

37. Séralini, G.-E., Cellier, D. et Spiroux de Vendomois, J. "New Analysis of a Rat Feeding Study with a Genetically Modified Maize Reveals Signs of Hepatorenal Toxicity", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2007. <http://www.springerlink.com/content/02648wu132m07804/>.

38. Malatesta M. *et al.* "Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on genetically modified soybean", *Eur. J. Histochem.*, vol. 47, 2003, p. 385-388.

39. Malatesta, M. *et al.* "Ultrastructural Morphometrical and Immunocytochemical Analyses of Hepatocyte Nuclei from Mice Fed on Genetically Modified Soybean", *Cell Struct. Funct.*, vol. 27, 2002, p. 173-180.

40. Vecchio, L., Cisterna, B., Malatesta, M., Marti, T.E. et Biggiogera, M. "Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean", *Eur. J. Histochem.*, vol. 48, 2004, p. 449-454.

41. OGM: l'étude qui accuse, http://www.dailymotion.com/video/x15hjz_ogm-letude-qui-accuse.

42. Bertillet, C. « OGM, à la conquête de nos assiettes », reportage 19 avril, 2007, Antenne 2. <http://envoye-special.france2.fr/emissions/29944521-fr.php>.

enquête pour vérifier s'ils représentent ou non la pointe de l'iceberg. Ils pourraient aussi vérifier s'ils recourent ces autres témoignages, venus d'Argentine, relatifs aux sérieux problèmes de santé humaine associés aux épandages de pesticides des cultures transgéniques, les secondes cultures d'OGM en importance dans le monde après celles des États-Unis⁴³.

Au plan économique, enfin, on peut se demander à quoi et surtout à qui servirait un tel porc transgénique. À verdir l'image d'un porc moins pollueur permettant de gagner un peu de temps face aux compétiteurs étrangers? Qui sera dupe d'un tel effet d'illusion, risquant de bloquer les marchés européens et japonais qui redoutent la transgénèse? Qui ignorera les risques de voir les citoyens bouder ce porc transgénique, tout comme on le craint déjà pour le saumon transgénique, dont la mise en marché est toujours en attente d'homologation à la Food and Drug Administration⁴⁴? Bref, pourquoi risquer autant, au profit de quelques firmes, alors que les enjeux écologiques et économiques sont aussi pressants?

« Porciculture » et « pétroculture »...

Depuis 15 ans, comment ne pas voir que la vallée du Saint-Laurent est jaune... jaune maïs, à perte de vue, couleur de ces immenses monocultures répondant à l'augmentation des élevages intensifs, des épandages de lisiers et de la baisse des terres laissées en pâturage aux bestiaux? Toutefois, ces monocultures, souvent transgéniques, grandes consommatrices et pollueuses d'eau, véritables « pétrocultures » carburant aux machineries et aux intrants à base de pétrole, s'avèrent assez problématiques en regard d'une « approche cycle de vie », et peu compatibles avec une agriculture viable et vivable.

Rappelons qu'en 2005, au Québec, 44 % du maïs était transgénique (environ 232 000 hectares), 41 % du soya (77 000 hectares)

43. « OGM, l'horreur! Réveillez-vous avant... », M.-A. D. Morin et C. Martin, *Boréale*, 23 : 50 min : 08, déc. 2006, France. http://www.dailymotion.com/video/xrn35_ogm-lhorreur-reveillez-vous-avant!

44. Le Curieux-Belfond, O., Vandelac, L., Caron, J. et Seralini, G.-F. "Factors to Consider Before Authorizing Commercialization of Aquatic Genetic Modified Organisms: The Case of Transgenic Salmon", *Environmental science and policy*, manuscrit D-765, 2007. Article soumis.

et 95 % du canola (13 300 hectares)⁴⁵. Ces OGM sont à 99 % des plantes pesticides qui ne meurent pas en présence massive d'herbicides ou qui produisent leur propre insecticide ou intègrent, dans certains cas, les deux caractéristiques⁴⁶. Si bien que globalement, à l'exception des premières années, ces plantes pesticides ne réduisent pas mais au contraire augmentent les quantités de pesticides utilisées, comme le rapporte l'étude rétrospective de neuf ans menée aux États-Unis par Charles M. Benbrook⁴⁷. Par ailleurs, comme les firmes sélectionnent les meilleurs cultivars pour en faire des OGM, cela laisse croire que la performance de ces semences tient à leur caractère transgénique qui a essentiellement une fonction pesticide. Nombre de ces OGM, disséminés par pollution génétique, envahissent aussi les catalogues de semences, limitant alors la disponibilité des semences non transgéniques, forçant ainsi les agriculteurs à racheter constamment ces semences brevetées et, très souvent, des pesticides qui leur sont liés.

La question qui se pose est alors la suivante. Au Québec, nous avons centré une partie importante de l'économie agricole sur le porc et sur les cultures de maïs qui sont désormais, pour près de moitié, transgéniques. Or, si les problèmes de vache folle et de grippe aviaire ont réussi à perturber profondément des agricultures entières, que se passera-t-il en cas de problèmes majeurs liés, par exemple, aux effets nocifs de maïs transgéniques pesticides sur les abeilles ou sur la santé animale ou humaine ? Ces cultures transgéniques n'étant pas assurées par les grands réassureurs du monde, et aucun fond, du type « Superfund » aux États-Unis, n'ayant été mis en place en cas de dommages majeurs, qui paiera alors la note ?

Du maïs transgénique à bestiaux... au maïs à auto

À court terme, ce sont notamment les imposants surplus de maïs transgéniques enregistrés aux États-Unis à la suite notamment du

45. Statistique Canada, *Série de rapports sur les grandes cultures*, vol. 8, n° 84, déc. 2005, p. 22. <http://www.statcan.ca/francais/freepub/22-002-XIB/0080522-002-XIB.pdf>.

46. Séralini, G.-É., *op.cit.*, note 43.

47. Benbrook, C. M. "Genetically Engineered Crops and Pesticide Use in the United States: The First Nine Years", *BioTech InfoNet, Technical Paper*, n° 7, octobre 2004.

refus de ces OGM par les pays européens, et écoulés désormais sous forme d'éthanol, qui risquent de poser les plus sérieux problèmes aux éleveurs. Dans un contexte où les réserves fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel, etc.) s'annoncent de plus en plus rares et chères, on pressent bien la nécessité d'une approche globale et durable concernant les biocarburants. Par exemple, quels mécanismes démocratiques de régulation devrait-on instaurer pour éviter des effets de compétition dévastateurs entre usages des terres pour fins alimentaires humaines et animales, pour l'élevage et pour la préservation des milieux naturels et pour le développement urbain? Quelles seraient les meilleures ressources destinées aux biocarburants (résidus agricoles, cultures pérennes herbacées telles le miscanthus, etc.) et les filières de transformation les plus performantes? Dans le contexte actuel, le prétendu virage vert consistant à cultiver du maïs pour le transformer en éthanol constitue manifestement l'un des plus mauvais choix, tant à cause de sa faible performance en terme de réduction des GES et de son rendement énergétique de trois à quatre fois inférieur à celui de l'éthanol cellulosique, qu'à cause du caractère insatiable de la « demande automobile », menaçant la sécurité alimentaire. Ainsi, aux États-Unis, l'utilisation du maïs pour l'éthanol a triplé de 2001 à 2006, passant de 18 à 55 millions de tonnes, faisant craindre que les réserves de maïs soient insuffisantes et ses coûts prohibitifs pour la production de viande, de lait et d'œufs⁴⁸. Cette hausse de la demande, qui a déjà entraîné une flambée des prix du maïs au point de faire doubler les prix, et notamment ceux des tacos de nos voisins mexicains, est si alléchante que, selon Statistique Canada, les producteurs canadiens augmenteraient, en 2007, les superficies de maïs canadien de 26 %, faisant chuter celles du blé de 16 %. Toute la production agricole risque donc d'être profondément chamboulée, faisant flamber les coûts de production et les prix à la consommation, menaçant d'autant les éleveurs et notamment les producteurs hors sol. Cette insouciance fuite en avant transformant les « autos vertes à l'éthanol » en brouteuses de maïs transgénique

48. Lester, R. Brown. "Supermarkets and Service Stations now Competing for Grain" Earth Policy Institute, 13 juillet 2006. http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update55_printable.htm Consulté le 19 juillet 2007.

en surplus, puis de cultures destinées aux biocarburants, risque non seulement d'aggraver les problèmes socio-économiques et environnementaux, mais aussi de compromettre le développement raisonné et harmonieux de nouvelles sources énergétiques.

Porcs transgéniques et clonés, *biopharming* et xénogreffes

Au moment où certains proposent d'introduire des porcs transgéniques, d'autres annoncent pour bientôt des porcs clonés⁴⁹ tout en prétendant, comme on l'a fait pour imposer les OGM végétaux, que ces porcs suffisamment différents pour être brevetés sont néanmoins substantiellement équivalents au porc « normal » ; bref, ils ne sont pas assez différents pour faire l'objet de contre-expertises rigoureuses et indépendantes...

Or, comment éviter de tels projets si, au nom de la compétitivité, on inféode l'industrie québécoise aux joueurs américains, en calquant l'essentiel de nos approches et de nos méthodes sur les leurs, et si les pouvoirs publics québécois n'amorcent pas des politiques agroalimentaires novatrices et cohérentes, centrées sur la valeur ajoutée et sur les spécificités québécoises, permettant ainsi d'éviter de faire bêtement les frais de l'intégration continentale ? Le rôle du gouvernement québécois est d'autant plus crucial que les institutions réglementaires fédérales nous ont malheureusement habitués, depuis des années, à « harmoniser » nos politiques à celles de nos voisins américains, tout en mystifiant le public avec les « smart regulations⁵⁰ » ou avec de spécieux dispositifs de « consultations publiques en ligne⁵¹ ».

49. FDA (U.S. Food and Drug Administration) "FDA Issues Draft Documents on the Safety of Animal Clones: Agency Continues to Ask Producers and Breeders Not to Introduce Food from Clones into Food Supply", *FDA News*, 2006. Consulté le 23 janvier 2007. <http://www.fda.gov/bbs/topics/NEWS/2006/NEW01541.html>.

50. Graham, J. "Smart Regulation: Will the government's strategy work?", *Canadian Medical Association Journal*, n° 173 (12), 22005, p. 1469-1470.

51. Bacon, M.-H. *Le développement des biopharmaceutiques: politique publique ou stratégie de promotion économique?*, mémoire de maîtrise en sociologie, Université du Québec à Montréal, sous la direction de L. Vandelac, 2001.

Le gouvernement canadien, dont le rôle de juge et partie dans le domaine des biotechnologies⁵² découle largement de la stratégie canadienne sur les biotechnologies, conçue comme fer de lance de l'économie⁵³, n'est guère enclin dans ce domaine à respecter le principe de précaution ou à combler les principales lacunes des dispositifs évaluatifs et réglementaires. Comment alors éviter d'être mis devant le fait accompli d'animaux de boucherie transgéniques, voire clonés, comme ce fut le cas avec les OGM ? Et comment éviter de se faire imposer le *biopharming* permettant de produire en quantité et de façon plus rapide, plus économique et parfois plus simple, dit-on, des biomolécules destinées au secteur pharmaceutique et industriel à partir de végétaux et d'animaux transgéniques, utilisés comme usines à protéines⁵⁴, opérations qui ne sont toutefois pas sans risques significatifs pour la santé et pour l'environnement ?

Récemment, le département américain de l'agriculture approuvait plus de 100 applications de la moléculature pour faire des essais de productions pharmaceutiques dans du maïs, du riz, de l'orge et du tabac⁵⁵. Dans ce contexte, le gouvernement canadien saura-t-il prendre en compte les flagrantes lacunes réglementaires et les sérieux risques de contamination de l'environnement et de la chaîne alimentaire⁵⁶ pour résister aux pressions des lobbies voulant commercialiser la moléculature⁵⁷ ?

52. Société royale du Canada (SRC). *Éléments de précaution: recommandations pour la réglementation de la biotechnologie alimentaire au Canada*, rapport complet du groupe d'experts, 2001. http://www.rsc.ca/index.php?lang_id=2&page_id=119.

53. Bacon, M.-H. *op. cit.*, note 53.

54. Bacon, M.-H. *Génie génétique, biopharming et industrie pharmaceutique*, projet de doctorat en sociologie, Université du Québec à Montréal, sous la direction de L. Vandelac, 2005.

55. Munro, M. "Seed stranded in Chile underscores quandary on genetic modifications", *CanWest News Service*, 28 avril 2007.

56. Gene Watch et Greenpeace, *GM Contamination Report 2005 : A review of cases of contamination, illegal planting and negative side effects of genetically modified organisms*, 2005. <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/gm-contamination-report.pdf>.

57. Darier, É. *et al. Lettre au Premier Ministre Stephen Harper*, dans le cadre de la consultation de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) sur des Critères d'évaluation de la sécurité environnementale des végétaux transgéniques destinés à la moléculature végétale commerciale,

Quant à la création de porcs transgéniques comme réserve vivante d'organes humanisés destinés à d'éventuelles xénogreffes⁵⁸, les risques médicaux de rejets, d'infections et de transmissions de virus d'animaux à des humains sont si élevés que l'application de tels développements, d'ailleurs largement boudés par la population⁵⁹, a été repoussée, alors que les progrès en génie tissulaire laissent espérer de nouvelles alternatives.

« Hold-up sur le vivant ! »

Cette expression empruntée à l'agronome et économiste français de l'INRA, Jean-Pierre Berlan⁶⁰, met en évidence qu'au-delà des questions de santé et d'environnement, la transgénèse végétale et animale interroge la mainmise croissante de quelques multinationales sur l'alimentation mondiale et sur l'évolution du vivant. À titre d'exemple, s'il est vrai que la puissante firme Monsanto, contrôlant une large partie des semences transgéniques et des herbicides Roundup, s'apprête, par d'étonnantes demandes de brevets, à faire main basse sur une partie de la production mondiale de porcs, cela fait frémir... Si l'on en croit Greenpeace, qui assure un suivi régulier des demandes de brevets déposées à l'Office suisse des brevets à Genève, l'une des applications (WO 225/015989) présentée par Monsanto décrit des méthodes très générales et déjà fréquemment utilisées de croisement et de sélection du porc, dont notamment l'insémination artificielle. La principale « invention » ne serait ici rien d'autre qu'une combinaison particulière de ces éléments désignée pour accroître le cycle de reproduction des traits sélectionnés, afin d'augmenter la rentabilité commerciale des animaux. Selon cette même source, l'autre application (WO 2005/

Alliance pour cibler l'intégrité en agriculture (ACIA), lettre co-signée par plus de 60 groupes québécois, canadiens et internationaux, 23 mai 2006.

58. Saint-Germain, C. *La technologie médicale hors-limite: le cas des xénogreffes*, Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec, 2001.

59. Association canadienne de santé publique (ACSP). *La transplantation de l'animal à l'humain: le Canada doit-il donner son feu vert?* Consultation publique sur la xénotransplantation, Ottawa, ACSP, 2001. <http://www.xeno.cpha.ca/francais/finalrep/page1.htm>.

60. Berlan, J.-P. *La guerre au vivant: OGM & mystifications scientifiques*, Marseille/Agone et Montréal/Comeau & Nadeau, 2001.

017204) se référerait à des porcs dans lesquels une séquence génétique, liée à une hausse du taux de croissance, aurait été détectée⁶¹. Si ces informations sont confirmées, comme le craint un troublant documentaire portant sur le sujet⁶², et si de tels brevets étaient effectivement attribués, les éleveurs de porcs seraient alors les premiers sur la ligne de mire.

Du porc frais au porc transgénique... au porc artificiel sans porc ?

Les développements technoscientifiques ouvrent d'autres voies risquant également de s'avérer fort problématiques, tant pour les producteurs que pour les consommateurs. Depuis le début des années 2000, on a vu émerger une nouvelle alternative à la production de viande animale : la viande artificielle. Cette stratégie de production carnée, basée sur la culture *in vitro* de cellules de muscles d'animaux, s'appuie soit sur une technique de prolifération de cellules sur une structure absorbante ou soit sur une technique dite d'auto-organisation⁶³ qui ne requiert, dans les deux cas, que certains composants animales, dont des facteurs de croissance tel du sérum de veau.

Bien que ces techniques, encore loin d'être parfaitement au point, ne permettent de produire que de la viande transformée du type viande à hamburger ou chair à saucisse, elles utiliseraient, selon ses promoteurs, beaucoup plus efficacement les nutriments et les ressources énergétiques de la terre et de l'eau. Présentée comme véritable panacée⁶⁴, cette pseudo-viande permettrait de diminuer les pressions environnementales, d'éviter la souffrance animale, de produire de la viande exempte de pathogènes, d'hormones de croissance, d'antibiotiques, de pesticides, de graisse en excès et même d'os (évitant ainsi les risques de s'étrangler, ajoute-t-on sans

61. Greenpeace. *Monsanto files patent for new invention: the pig*, 2005. <http://www.greenpeace.org/international/news/monsanto-pig-patent-111>. Traduction des auteurs.

62. Jentzsch, C. *Brevet pour le porc*, Production HTTV/WDR, 2007.

63. Edelman, P.E., McFarland, D.C., Mironov, V.A. et Matheny, J.G. "In Vitro Cultured Meat Production", *Tissue Engineering*, vol. 11, n° 5-6, 2005, p. 659-662.

64. *Ibid.* Voir aussi <http://www.new-harvest.org/default.php>.

sourciller...). Certes, en l'absence de systèmes respiratoires, digestifs et nerveux, de chair, d'os et de peau ; bref en l'absence d'animaux à nourrir, à soigner et à entretenir... tout le bénéfice est concentré aux mains de quelques entreprises... Si ces techniques permettent, comme certains le prétendent, de produire des quantités phénoménales de viande artificielle à partir de quelques substrats, et si aucun problème sanitaire majeur ne résulte de telles « usines à viande », on imagine rapidement l'incroyable concentration de production de viandes brevetées, aux mains de quelques géants de l'industrie.

Quel avenir tout cela nous réserve-t-il ? La production industrielle de viande artificielle sera-t-elle élargie et banalisée, alors que les petits producteurs porcins seront décimés par la hausse des coûts d'énergie, de carburants et de maïs, au profit des grandes productions porcines, plus intensives encore et possiblement transgéniques ? Certains seront-ils forcés de se transformer en « moléculteurs » de plantes et d'animaux transgéniques pour l'industrie et le secteur pharmaceutique, pendant que d'autres, encore, se concentreront sur les produits biologiques et du terroir, réservés aux plus fortunés ou au plus avisés ? Chose certaine, l'actuelle crise de la porciculture risque fort d'être accentuée, non seulement par la compétition internationale, mais aussi par la flambée des coûts de production énergétiques, alimentaires et environnementaux, et par l'évolution accélérée du génie génétique et du génie tissulaire, dont la viande artificielle n'est qu'une des applications.

Saurons-nous tirer les leçons de la douloureuse saga de la porciculture intensive et intempestive, et réussissons-nous à exiger enfin de véritables débats démocratiques sur les orientations techno-économiques en agriculture et en alimentation, afin d'éviter que tout soit imposé par faits accomplis successifs ? Quand la prétendue raison économique de certains nous prépare un tel bestiaire transgénique de pures marchandises sur pattes, force est de reconnaître que ce type de raison n'a pas raison de toutes les raisons, et que nous serions beaucoup mieux avisés d'ébaucher, collectivement, un avenir digne de ce nom, tant pour les agriculteurs et les producteurs que pour les citoyens, les consommateurs et également les animaux... Comme me le rappelait ma vieille amie hongroise, Margrit, c'était le cochon familial qui, dans son village natal, allait la chercher tous les jours à l'école, comme d'ailleurs presque tous les enfants de sa classe... Les yeux emmêlés de souvenirs heureux et

d'infinie tristesse, elle ajoutait: « Ils sont si intelligents et si sensibles les cochons... Pourquoi les traiter ainsi? »

Bref, dans ce petit jardin bien arrosé de deux millions d'hectares qui symbolise bien cette Europe culinaire du Nord de l'Amérique, le Québec pourrait fort bien se démarquer par la qualité de ses produits agroécologiques et par l'intelligence de ses politiques. Rappelons que les citoyens ont largement réussi à imposer, depuis 10 ans, une gestion publique un peu plus responsable de l'eau, remodelant ainsi le Québec bleu, alors qu'après avoir dénoncé la malgestion forestière, d'autres ont incité à repenser ces développements verts, pendant que d'autres remettaient en question le jaune maïs d'un certain productivisme agricole, contribuant tous ainsi, de contestations en propositions concrètes et en commissions, à faire en sorte que ce pays réel puisse enfin naître à lui-même dans toute la puissance de ses couleurs emmêlées.

Toutefois, vu l'ampleur des défis cristallisés dans le secteur de l'élevage, au confluent des questions d'énergie, d'alimentation et d'environnement, seule une réelle évaluation stratégique non seulement des impacts mais aussi du bien-fondé et des stratégies de développement sociotechniques proposées pourra permettre de faire des choix éclairés et d'instaurer des politiques publiques et des cadres réglementaires davantage appropriés. Avant que les derniers petits et moyens producteurs ne soient décimés, que la souveraineté et la sécurité alimentaires ne soient compromises et que les bouleversements de l'agriculture ne déchirent les paysages ruraux et ne ternissent les plaisirs de la table – bref, avant de devoir dire « Adieux veaux, vaches, cochons! » –, n'avons-nous pas tous et chacun notre mot à dire et quelques gestes bien sentis à poser?